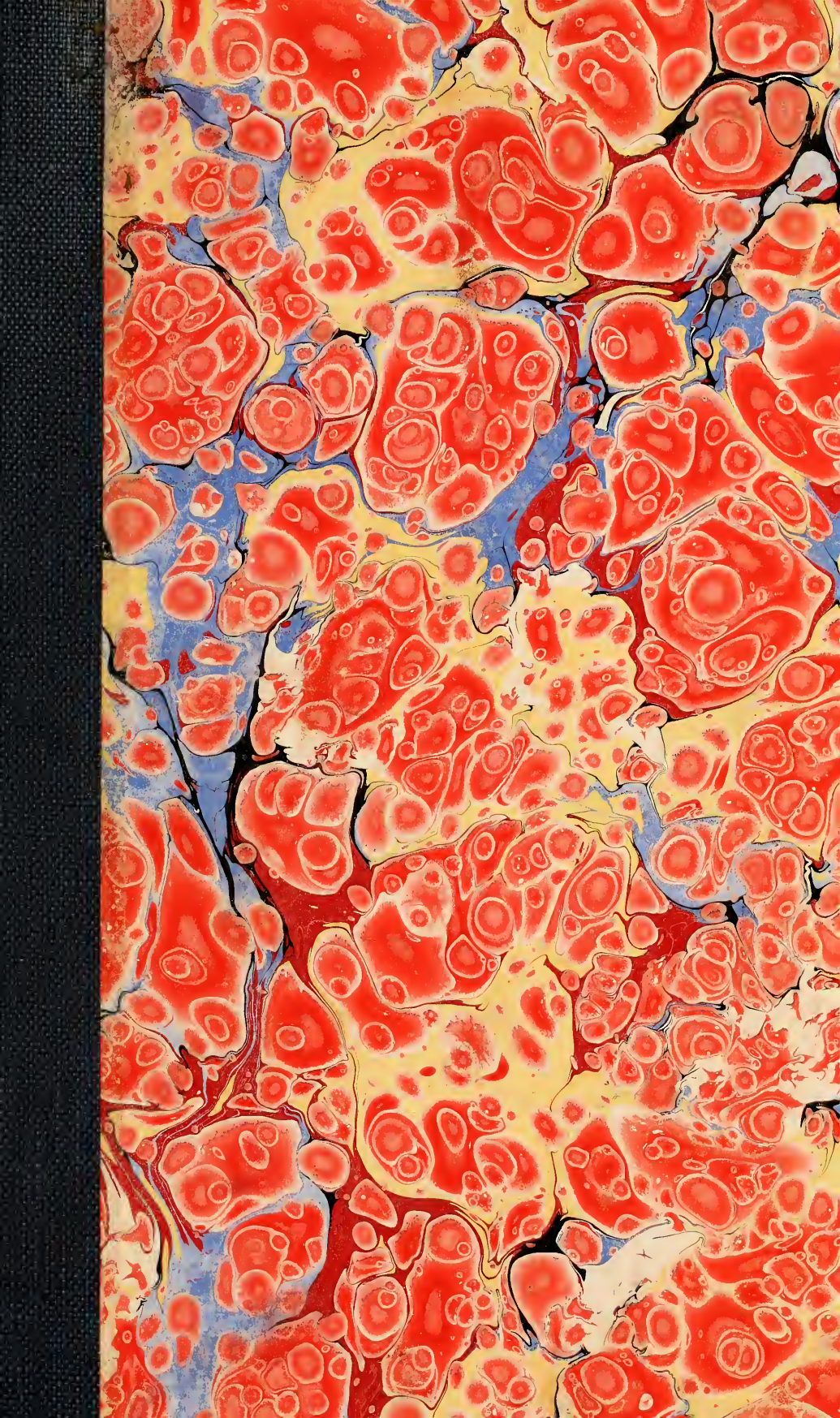


Boston Medical Library
in the Francis A. Countway
Library of Medicine ~ *Boston*

Digitized by the Internet Archive
in 2011 with funding from
Open Knowledge Commons and Harvard Medical School

http://www.archive.org/details/dasradiumunddier00bess

DAS RADIUM
UND DIE RADIOAKTIVITÄT

ALLGEMEINE EIGENSCHAFTEN UND ÄRZTLICHE ANWENDUNGEN

VON

PAUL BESSON,
INGENIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

MIT EINEM VORWORT
VON
DR. A. D'ARSONVAL
MITGLIED DES INSTITUT DE FRANCE.

AUTORISIERTE DEUTSCHE AUSGABE VON
DR. W. VON RÜDIGER.

MIT EINEM VORWORT VON
DR. ALFRED EXNER.

LEIPZIG
VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH
1905

HEYDWEILLER, AD., Hilfsbuch für die Ausführung elektrischer Messungen. 8°. [VIII, 262 Seiten mit 58 Figuren.] 1892. M. 6.—; geb. M. 7.—.

Das Buch wird Jedem willkommen sein, der, sei es zu rein wissenschaftlichen Zwecken, sei es bei praktischem Bedarf mit elektrischen Messungen zu tun hat. Es enthält wohl alle Methoden, die in neuerer Zeit bekannt geworden sind. Dabei ist auf Fehlerquellen und Korrektionen besondere Rücksicht genommen.

LOMMEL, E. von, Lehrbuch der Experimentalphysik. 10. u. 11. Auflage, herausgegeben von Prof. Dr. **Walter König.** gr. 8°. [X, 596 Seiten mit 424 Fig. und 1 Spektraltafel.] 1904. M. 6.40; geb. M. 7.20.

Ein Buch, das in 11 Jahren elf starke Auflagen erlebt, bedarf keiner besonderen Empfehlung mehr. Es ist an den meisten Hochschulen eingeführt und für das Examen und Selbststudium der praktischste Führer.

Elektrotechn. Zeitschrift: Die Grundlehren der Physik werden ohne weitläufige mathematische Entwickelungen dem heutigen Standpunkte unserer Kenntnisse entsprechend allgemein verständlich dargestellt. Es werden nur elementare mathematische Kenntnisse vorausgesetzt. Das Buch ist in seiner Art sehr vorzüglich und kann auch zum Selbststudium empfohlen werden.

Zeitschrift f. d. Realschulwesen (Wien): . . . wir müssen schon, was die Reichhaltigkeit betrifft, das vorliegende Lehrbuch den besten derartigen an die Seite stellen. Aber auch in Bezug auf die klare und übersichtliche Darstellung — selbst der schwierigsten Partien — entspricht es den strengsten Anforderungen.

ROSENBERGER, FERD., Isaak Newton und seine physikalischen Prinzipien. Ein Hauptstück aus der Entwicklungsgeschichte der modernen Physik. 8°. [VIII, 538 Seiten mit Abbildungen.] 1895. M. 13.50.

Unterrichtsblätter f. Mathematik und Naturwissenschaften: Die Darstellung ist vortrefflich; denn trotz der peinlichen Sorgfalt, mit der alles, was für den behandelten Stoff von Bedeutung ist, geprüft wird, wirkt sie nie ermüdend, bleibt stets fesselnd, vor allem wohl deshalb, weil sie nicht bloß eine kritische Analyse der Newtonschen Leistungen gibt, sondern deren Entscheidung und Eigenart auf die geistigen und Charaktereigentümlichkeiten ihres Schöpfers in Verbindung mit seinen persönlichen Schicksalen zurückführt.

KIRCHHOFF, R., Gesammelte Abhandlungen. 8°. [VIII, 641 Seiten mit Porträt und 2 lithographischen Tafeln.] 1882. Dazu Nachtrag, herausgegeben von **L. Boltzmann.** [137 Seiten mit 1 Tafel.] 1896. M. 18.60.

CLAUSIUS, R., Die Potentialfunktion und das Potential. Ein Beitrag zur mathematischen Physik. 4. vermehrte Auflage. 8°. [178 Seiten.] 1885. M. 4.—

ERHARD, TH., Einführung in die Elektrotechnik. Die Erzeugung starker elektrischer Ströme und ihre Anwendung zur Kraftübertragung. 2. Aufl. [VIII, 200 Seiten mit 99 Abbildungen.] geh. M. 4.50; geb. M. 5.50.

Das vorliegende Buch soll angehenden Ingenieuren in kurzer Form und genügend begründet die Hauptsätze vorführen, auf denen die heutige Starkstromtechnik beruht und gewissermaßen die Mitte halten zwischen einerseits denjenigen Werken, welche, für die Bedürfnisse ausführender Elektrotechniker geschrieben, tief in die Einzelheiten des Gebietes eingehen, und andererseits denjenigen Büchern, welche, von den geringsten Vorkenntnissen ausgehend, für den Ingenieur zu wenig bieten.

STEINMETZ, CH. PR., Theorie und Berechnung der Wechselstromerscheinungen. Deutsche, vom Verfasser autorisierte Ausgabe. gr. 8°. [XVIII, 512 Seiten mit 189 Textfiguren.] 1900. M. 12.—; geb. M. 13.50.

Elektrotechnische Zeitschrift: Die Untersuchung ist eine sehr vollständige . . . Die Inhaltsangabe wird erkennen lassen, daß die Theorie der Wechselstromtechnik erschöpfend behandelt ist. Der aufmerksame Leser wird auch vielerlei praktische Anregungen finden, die ihm bei der Konstruktion und beim Entwurf von Maschinen zugute kommen.

JAUMANN, G., Leichtfaßliche Vorlesungen über Elektrizität und Licht. 8°. [XII, 375 Seiten, mit 188 Abbildungen.] 1901. M. 6.—; geb. M. 7.20.

Monatschrift für höhere Schulen: Das Buch ist aus volkstümlichen Universitätsvorlesungen vor Anfängern an Hochschulen und Lehrern an Mittelschulen hervorgegangen. Solche Hörer und Leser dürften über genügendes Anschauungsvermögen verfügen, um die übrigens sehr klare hydrodynamische Einleitung und ihre spätere Anwendung auf die Maxwellsche Theorie zu verstehen. Die wenigen Formeln beschränken sich auf die elementarste Algebra. Jedenfalls kann das Buch bei dem glücklichen Griffe des Verfassers für einfache und anschauliche Analogieen Anfängern mit einiger Vorbildung warm empfohlen werden. *A. Slaby.*

DAS RADIUM
UND DIE RADIOAKTIVITÄT

ALLGEMEINE EIGENSCHAFTEN UND ÄRZTLICHE ANWENDUNGEN

VON

PAUL BESSON,

INGENIEUR DES ARTS ET MANUFACTURES

MIT EINEM VORWORT

VON

DR. A. D'ARSONVAL

MITGLIED DES INSTITUT DE FRANCE.

AUTORISIERTE DEUTSCHE AUSGABE VON

DR. W. VON RÜDIGER.

MIT EINEM VORWORT VON

DR. ALFRED EXNER.

LEIPZIG

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH

1905

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Vorwort zur deutschen Ausgabe.

Ich komme der ehrenvollen Aufforderung des Herrn Übersetzers, ein Einführungswort für die deutsche Übersetzung des Buches von Paul Besson zu schreiben, gern nach, da ja bei dem großen Interesse, das die Ärzte heute dem Radium und seinen Eigenschaften entgegenbringen, gerade ein Werk, das uns Ärzte in verständlicher Form mit den chemischen und physikalischen Eigenschaften dieses merkwürdigen Körpers bekannt macht, ein großes Bedürfnis ist.

Der Nichtphysiker, will er sich über die physikalischen und chemischen Grundlagen derartiger neuer, therapeutischer Hilfsmittel orientieren, stößt auf die allergrößten Schwierigkeiten. Jeder Arzt wird daher dem Autor für die klare, leicht verständliche Erörterung dieses uns so fern liegenden Stoffes dankbar sein, besonders da uns eine ziemlich genaue Literaturangabe ermöglicht, uns über die historische Entwicklung dieses Forschungsgebietes zu orientieren.

Ein größerer Teil des Buches ist den physiologischen und therapeutischen Wirkungen des Radiums gewidmet, so daß sich der Leser auch über diesen Stoff oberflächlich unterrichten kann.

Erst kurze Zeit ist seitder therapeutischen Anwendung des Radiums verflossen, und schon sind von verschiedenen Seiten über günstige Erfolge bei zahlreichen Krankheiten berichtet worden. Die vielfältigen Methoden der Bestrahlungstherapie mit ihren zum Teil noch gar nicht erklärten Wirkungen lassen uns hoffen,

auf den neu betretenen Bahnen noch viele Erfolge zu erzielen. Und so müssen wir Ärzte uns die geniale Entdeckung von Becquerel und Herrn und Frau Curie weiter zu nutze machen, um ausgerüstet mit den neuesten Errungenschaften der Physik und Chemie, unsere Therapie zu vervollkommnen.

Dr. Alfred Exner,
Arzt an der II. chirurgischen Klinik
der Wiener Universität.

Vorwort zur französischen Ausgabe.

Diese kleine Schrift, die ich auf Ersuchen ihres Verfassers der Öffentlichkeit übergebe, setzt sich nur die Aufgabe, die Leser über die wesentlichsten jener erst seit kurzem bekannten Erscheinungen auf dem Laufenden zu halten, deren Entdeckung man Becquerel und Herrn und Frau Curie zu verdanken hat.

Die Radioaktiviät der Materie eröffnet ganz neue Perspektiven, nicht nur für den Physiker, sondern auch für den Chemiker, Mechaniker, Philosophen, Physiologen und Mediziner.

Unser Bestreben, die Geheimnisse der Natur zu ergründen, ist stets mit dem bewußten oder unbewußten Gefühl verknüpft, die Erkenntnis einer neuen Naturerscheinung möchte uns früher oder später einmal in den Stand setzen, mit ihrer Hilfe gegen Krankheiten ankämpfen zu können.

Von diesem Gesichtspunkte aus beginnen neuerdings auch die Ärzte die Wichtigkeit der physikalischen Wissenschaften mehr anzuerkennen und die Naturkräfte eifrig zu studieren, um sie zu diagnostischen oder therapeutischen Zwecken zu verwerten.

Die Wichtigkeit der Biologie wächst mit jedem Tage. Schon seit 25 Jahren machte ich ununterbrochen auf die Notwendigkeit dieses Studiums aufmerksam, ohne eine so überraschend schnelle Entwicklung, wie sie in der Neuzeit zutage tritt, zu hoffen.

Meine Hauptsorge bleibt die, daß die physikalische Bildung der Ärzte sich noch nicht auf der erwünschten Höhe befindet, um so wirksame Naturkräfte, wie die Elektrizität und

die neuen Strahlungen, mit Einsicht in die Praxis einführen zu können.

Mit diesen Dingen darf nicht empirisch verfahren werden, denn die Folgen der Unkenntnis oder selbst eine einfache Fahrlässigkeit können für den Kranken höchst verderblich werden.

Die außergewöhnliche Energie, welche die radioaktiven Substanzen in ihrer Zerstörung der lebenden Materie äußern, zwingt den Arzt zur äußersten Vorsicht bei deren Anwendung auf den Menschen.

Erst durch eine Reihe methodischer Versuche an Tieren werden wir die gefährliche Klippe vermeiden lernen, das Radium entweder als allheilendes, oder als unheilvolles Medikament zu betrachten. Zum Glück sind Forscher von allen Seiten an der Arbeit, und aus den zerstreuten Ergebnissen, die von Zeit zu Zeit in die Öffentlichkeit dringen, werden die Ärzte Nutzen ziehen können.

Das vorliegende Buch bringt alles das, was bis in die neueste Zeit sowohl in physikalischer wie in therapeutischer Hinsicht geleistet worden ist. Dazu kommt, daß Besson als Direktor der Société centrale de Produits chimiques die Entwicklung der Radiumstudien von Tag zu Tag verfolgt hat, und dadurch vor allen anderen in der Lage ist, mit Sachkenntnis über die neue Entdeckung zu urteilen und zu schreiben.

Dr. D'Arsonval,
Mitglied des Institut de France.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Einleitung 1

Erstes Kapitel. Geschichtliches. Entdeckung. Untersuchungen 3

Becquerelstrahlen. Radioaktivität 4
Messung der Strahlungsstärke eines radioaktiven Körpers . . 6
Schwache Felder 12
Starke Felder 12

Zweites Kapitel. Entdeckung der neuen radioaktiven Substanzen: Polonium, Radium, Aktinium 16

Spektrum des Radiums 19
Bestimmung des Atomgewichts 20

Drittes Kapitel. Untersuchungen über die Natur der Strahlungen 23

Zusammensetzung der Strahlungen 24
α-Strahlen 24
β-Strahlen 25
γ-Strahlen 25
Wirkung des magnetischen Feldes 25
Elektrische Ladung der Strahlen 28
Energie der Strahlungen 31
Absorbierung der Strahlen 32
Bevorzugte Absorbierung 32
Sekundärstrahlen 36
Spinthariskop von Sir W. Crookes 37

Viertes Kapitel. Physikalische und chemische Wirkungen der Becquerelstrahlen 39

Lichtwirkungen 39
Fluorescenz 39
Luminescenz 40
Radiographische Wirkungen 41
Entwicklung von Wärme durch Radiumsalze 42
Elektrische Wirkungen 45
Wirkungen der Radiumstrahlen auf dielektrische Flüssigkeiten 46
Leistungen und Anwendungen der ionisierenden Wirkung Elektroskop zur Untersuchung von radioaktiven Körpern 47
Wirkungen des Radiums auf die elektrische Leitungsfähigkeit des Selens 49
Chemische Wirkungen 49
Wirkungen der Thermoluminescenz 52

Fünftes Kapitel. Physiologische und therapeutische Wirkungen der Radiumstrahlungen 53

Einleitung. Radiotherapie 53
Vergleiche mit der Röntgenpraxis. Härtegrade der Röhren und deren verschiedene Wirkungen 54

Seite

Wirkungen der Radiumstrahlen. Allgemeines 55
α-Strahlen 55
β-Strahlen 56
γ-Strahlen 56
Wirkungen der Radiumstrahlen auf gesunde Haut 57
Starke und einmalige Bestrahlungen 58
Starke und wiederholte Bestrahlungen 58
Schwache und lange Bestrahlungen 58
Anatomische Veränderungen 60
Physiologische Veränderungen 61
Anwendung der Radiumstrahlen in der Therapeutik 61
Behandlung des Lupus 62
Folgeerscheinungen nach Auflegen des Radiums auf einen Lupus 64
Allgemeine Folgen nach der Behandlung mit Radium . . . 66
Schmerzhafte Wundgeschwüre 66
Verzögerungen bei der Vernarbung und Sklerose . . . 67
Einige von Dr. Danlos erzielten Erfolge 69
Behandlung mit kurzen und wiederholten Bestrahlungen . . 70
Behandlung von Krebs 71
Therapeutische Anwendung von Radium schwacher Aktivität 75
Wirkungen der Radiumstrahlen aufs Auge 76
Wirkungen der Radiumstrahlen auf Mikroben 77
Wirkung des Radiums auf Tiere 78
Einfluß der Radiumstrahlen auf das Wachstum der Tiere . . 80

Sechstes Kapitel. Induzierte Radioaktivität 82

Induzierte Radioaktivität in freier Luft 82
Induzierte Radioaktivität aus anderen Ursachen 86
Induzierte Radioaktivität in geschlossenen Gefäßen 86
Induzierte permanente Radioaktivität 90
Desaktivierung in geschlossenem Gefäß 90
Radioaktives Wasser 91
Übertragung der Radioaktivität auf einen in Radiumlösung befindlichen Stoff 92
Theorie der induzierten Radioaktivität nach Curie und Debierne 93

Siebentes Kapitel. Änderungen der Aktivität der Radiumsalze 96

Einfluß der Auflösung 96
Einfluß der Wärme 98

Achtes Kapitel. Hypothesen über die Natur und über die Ursachen der Erscheinungen. Allgemeine Betrachtungen 102

Hypothese der Emanation 102
Elektronen und Kathodenstrahlen 103
Das atomistische System. Wirkungen der ballistischen Korpuskeln 105
Bildung der Atome. Erzeugung von Energie 106
Resumé der Hypothesen 108
Versuch einer Theorie über die Ausbreitung des Lichts . . . 110
Allgemeine Betrachtungen 111

Einleitung.

Am 5. März 1902 wurde infolge Berichts von Moritz Lévy, Präsidenten der französischen Akademie der Wissenschaften, mit voller Einmütigkeit aller Sektionen des Institut de France eine Summe von 20 000 Franken, welche aus dem Vermächtnis von Hubert Debrusse herrührte, Herrn und Frau Curie zuerkannt, um diese in ihren seit mehreren Jahren betriebenen Studien über das Radium und die Radioaktivität zu unterstützen. Mit diesem Gelde sollte die Herstellung eines einzigen Gramm reinen Radiumsalzes aus mehreren Tonnen Erz ermöglicht werden.

Das bedeutende Mißverhältnis, welches zwischen dem erwarteten materiellen Erfolge und der zu diesem Zwecke von seiten des Instituts aufgewendeten Geldsumme bestand, zeigt am klarsten die große Wichtigkeit der leidenschaftlich verfolgten wissenschaftlichen Frage, welche durch Entdeckung des Radiums aufgeworfen worden war. Inzwischen haben die seit 1898 unternommenen Arbeiten zahlreiche Aufmunterungen erfahren, z. B. durch Unterstützungen der französischen Akademie der Wissenschaften und der Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale, ferner durch ein Geschenk eines edelmütigen Anonymus, durch Preise, welche Herrn und Frau Curie zuerkannt worden sind usw. Die über Radium teils in den Comptes rendus, teils in anderen französischen und ausländischen Blättern erschienenen Berichte belaufen sich auf viele Hundert.

Unter den Schriftstellern, welche sich mit diesem Gegenstande beschäftigt haben, sind zu nennen außer Herrn und Frau Curie, Becquerel und Debierne, welche als die Schöpfer dieses neuen wissenschaftlichen Zweiges, „die Radioaktivität", angesehen werden dürfen, Bary, Daune, Laborde, Sagnac,

Villard, Dr. Danlos, Dr. Bloch, Dr. Blandamour, Dr. de Pissareff, Dr. Danisz u. a. m. in Frankreich; Aschkinass, Caspari, Dorn, Elster, Geitel, Giesel, Heydweiller, Himstedt, Meyer, Nagel, Schmidt, v. Schweidler, Walkhoff in Deutschland; Crookes, Huggins, Mac Lennan, Owens, Rutherford, Soddy, Townsend, J. J. Thomson u. a. m. in England. Man ersieht daraus die wirkliche Bedeutsamkeit der wissenschaftlichen Bewegung, welche die Entdeckung von Herrn und Frau Curie hervorgerufen hat.

Da Verfasser von Anfang an auf dem Laufenden der Frage geblieben ist und außerdem die nötigen Arbeiten zur Gewinnung des Radiums unter eigner Leitung in den ihm unterstellten Werkstätten der Société Centrale de Produits chimiques hat ausführen lassen, schien es ihm eine dankbare Aufgabe zu sein, in vorliegendem Buche eine kurze Zusammenfassung alles dessen zu geben, was bisher über diese Frage veröffentlicht worden ist.

Verfasser wendet sich zunächst an die Ärzte, dann aber auch an alle diejenigen, welche sich für neue wissenschaftliche Entdeckungen interessieren und, ohne mit der höheren Physik vertraut zu sein, doch genügende allgemeine wissenschaftliche Vorkenntnisse besitzen.

Der medizinischen Anwendung des Radiums einen größeren Raum in diesem Buche zu gewähren, erscheint besonders zweckmäßig, weil diese Frage an der Tagesordnung ist und die bezüglichen Versuche in allen Ländern mit Enthusiasmus aufgenommen werden.

Zum Schluß seiner Einleitung verabsäumt Verfasser nicht, dem Ehepaar Curie für deren liebenswürdige Unterstützung beim Zustandekommen des vorliegenden Buches seinen Dank und seine Huldigung darzubringen.

Erstes Kapitel.

Geschichtliches. — Entdeckung. — Untersuchungen.

Man erinnert sich der gewaltigen Aufregung, welche sich der ganzen Welt bemächtigte, als im Jahre 1895 die Entdeckungen Röntgens bekannt wurden.

Die Strahlen, welche von einer Crookesschen Röhre ausgehen, setzen sich aus Kathodenstrahlen und aus sogenannten X- oder Röntgenstrahlen zusammen. Diese Strahlen pflanzen sich geradlinig fort und werden mehr oder minder von den Körpern, welche sie durchdringen, je nach deren Dichtigkeit absorbiert; an gewissen Substanzen erregen sie Fluoreszenz und Phosphoreszenz; ferner wirken sie auf photographische Platten ein, indem sie auf diesen Eindrücke hervorrufen. Beide Strahlenarten machen die atmosphärische Luft zum Elektrizitätsleiter, aber die Kathodenstrahlen, die Röntgenstrahlen ausgeschlossen, übertragen eine negative elektrische Ladung auf die Körper, welche sie treffen, und lassen sich überdies auch durch ein magnetisches Feld ablenken.

Diese Naturerscheinungen sind schwer verständlich, wenn man nicht die Anwesenheit materieller Partikel voraussetzt, welche eine gewisse Menge negativer Elektrizität fortführen. Wir werden Gelegenheit haben, später auf diese Hypothese zurückzukommen.

In den ersten Crookesschen Röhren, welche noch nicht mit metallischen Antikathoden versehen waren, bemerkte man eine lebhafte Fluoreszenz, welche H. Poincaré[1]) zu der Meinung brachte, daß die Erzeugung der Röntgenstrahlen von Fluoreszenz begleitet sei. Die Untersuchungen von Charles Henry

[1]) Poincaré, Revue des Sciences, 30. Jan. 1896.

und Niewenglowski, welche Radiographien mit belichtetem Schwefelzink und Schwefelcalcium erhielten und diese Substanzen phosphoreszierend machten, ferner die Versuche von Troost, welcher gleichen Erfolg mit künstlicher hexagonaler Blende hatte, scheinen die Hypothese von Poincaré zu bestätigen. Auch von mir sind diese Versuche mit Erfolg wiederholt worden.

Henry Becquerel, Mitglied des Instituts, würdiger Nachfolger seines Vaters und Großvaters, Edmond und Antoine Becquerel, unternahm zuerst die Untersuchung von fluoreszierenden Uranverbindungen.

Im Jahre 1896[1]) entdeckte er zunächst, daß die Fluoreszenz keinerlei Rolle bei der radiographischen Wirkung des Urans und seiner Verbindungen spielt; er fand vielmehr als ganz neue und nur bei gewissen Körpern bemerkbare Eigenschaft das Vermögen, selbsttätig solche Strahlen auszusenden, die imstande sind, Eindrücke auf photographischen Platten hervorzurufen.

Diese Strahlen, welche mit dem Namen Uranstrahlen oder Becquerelstrahlen belegt wurden, durchdringen undurchsichtige Körper, allerdings weniger leicht als Röntgenstrahlen, und machen die Luft elektrisch leitend.

Elster und Geitel, Lord Kelvin, Schmidt, Rutherford, Béathie und Smoluchowski, welche diese Strahlen studiert haben, konnten keine Reflexion, keine Refraktion und keine wirkliche Polarisation derselben beobachten.

Becquerelstrahlen. — Radioaktivität.

Die Entstehung von Uranstrahlen kann auf keine der bekannten erregenden Kräfte zurückgeführt werden. Das Strahlungsvermögen scheint vielmehr vollkommen spontan zu wirken; Belichtung durch Sonne spielt keine Rolle dabei; es ist nicht etwa eine besondere, durch Sonnenlicht hervorgerufene Phosphoreszenz. Der Effekt erscheint bleibend und von vollkommener Beständigkeit, und diese spontane Ausstrahlung bedeutet in der Tat ein ganz außergewöhnliches Phänomen. Frau Curie hat 5 Jahre lang Versuche mit Uranium angestellt und nur Änderungen von 2—3% des Strahlungsvermögens festzu-

[1]) Becquerel, Comptes rendus. **128**. 1896. S. 771.

stellen vermocht, so daß sich diese innerhalb der wissenschaftlich gestatteten Fehlergrenzen bewegen. Schmidt[1]) hat gezeigt, daß das Thorium und seine Verbindungen die gleichen Eigenschaften wie das Uranium besitzt; Frau Curie[2]) kam zu demselben Resultat, ohne die Arbeiten von Schmidt zu kennen.

Die neue Eigenschaft, vermöge deren gewisse Körper Becquerelstrahlen aussenden, wurde von Herrn und Frau Curie mit dem Namen „Radioaktivität" bezeichnet. (Comptes rendus de l'Academie des Sciences, 18. Juillet 1898.)

Alle photographischen und elektrischen Wirkungen der Becquerelstrahlen sind denen der Röntgenstrahlen sehr ähnlich, aber der größte Teil der von Uranium und Thorium ausgesendeten Strahlen vermögen nicht einigermaßen dicke Metallplatten zu durchdringen und auch nur auf wenige Zentimeter Entfernung in der Luft sich zu verbreiten.

Sagnac[3]) (an der Universität in Lille) vergleicht die Uran- und Thoriumstrahlen mit den sekundären durch Röntgenstrahlen erzeugten Strahlen, oder lieber mit diesen selber; man darf sie auch mit Kathodenstrahlen vergleichen, welche sich in der Luft zerstreuen, „Lenardstrahlen".

Die sekundären durch Röntgenstrahlen erzeugten Strahlen sind außer durch Sagnac auch durch Herrn Curie studiert. Diese Strahlen, weniger durchdringend als Röntgenstrahlen selber, entstehen, sobald die primären Strahlen einen materiellen Körper treffen. Mit den Becquerelstrahlen haben diese sekundären Strahlen das Gemeinsame, daß sie negative elektrische Ladungen übertragen, während die Körper, welche die Strahlen aussenden, sich positiv laden. Die Erscheinung ist um so stärker, je höher das Atomgewicht des bestrahlten Metalles ist.

Man darf als Schlußfolgerung hinstellen: wenn Kathodenstrahlen einen Körper treffen, erzeugen sie in diesem Röntgenstrahlen und umgekehrt, sobald diese letzteren Strahlen einen materiellen Körper treffen, sendet dieser Körper Strahlen aus, welche zum Teil aus Kathodenstrahlen bestehen.

---

[1]) Schmidt, Wied. Annal. **65**. S. 141.

[2]) Frau Curie, Comptes rendus. April 1898.

[3]) Sagnac, Comptes rendus, plusieurs Notes. **130**. 1897, 1898, 1899. S. 1013; Journal de Physique. 1901.

Messung der Strahlungsintensität eines radioaktiven Körpers.

Um die Radioaktivität von Substanzen zu untersuchen, maßen Herr und Frau Curie die elektrische Leitungsfähigkeit der Luft, welche durch den Einfluß der radioaktiven Substanz hervorgerufen ist.

Die zu untersuchende Substanz wird pulverisiert auf der Kondensatorplatte B (Fig. 1) ausgebreitet; infolgedessen wird die Luft zwischen den Kondensatorplatten leitend. Um diese Leitungsfähigkeit zu messen, verfährt man folgendermaßen: man bringt die Platte B auf ein hohes Potential, indem man

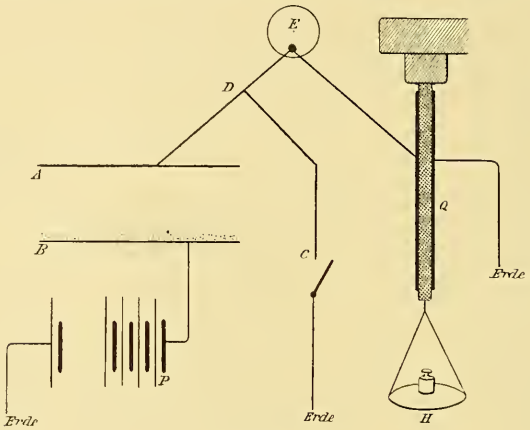


Fig. 1.

diese mit dem einen Pol einer Akkumulatorenbatterie P verbindet, deren anderer Pol mit der Erde verbunden ist. Da die Platte A durch die Leitung $C\,D$ auf dem Potential der Erde erhalten bleibt, so entsteht ein elektrischer Strom zwischen den beiden Platten, welcher durch ein Elektrometer E gemessen wird. Wenn man nun die Erdleitung in C unterbricht, so ladet sich die Platte A und diese elektrische Ladung bewirkt eine Abweichung des Elektrometers. Die Abweichung ist proportional der Stromintensität und dient zu deren Messung. Hierbei ist übrigens vorteilhaft, die Messung in der Weise auszuführen, daß man das Elektrometer immer auf Null erhält und mit der Ladung der Platte ausgleicht. Die Ladungen der

Platte sind nur sehr unbedeutend und können mit Hilfe eines piezoelektrischen Quarzes *Q* kompensiert werden, dessen eine Armatur mit der Platte *A*, die andere mit der Erde verbunden ist. Man unterwirft die Quarzplatte einer Zugkraft von bekannter Größe durch Auflegen von Gewichten auf das Schälchen *H*. Diese Zugkraft wird allmählich gesteigert und entwickelt während der Meßzeit eine bestimmte Menge Elektrizität. Das Messungsverfahren kann in der Weise geregelt werden, daß in jedem Augenblick eine Ausgleichung zwischen der Elektrizitätsmenge, welche den Kondensator durchfließt und der entgegengesetzten, vom Quarz herrührenden stattfindet. Man vermag auf diese Weise die Menge der durch den Kondensator gehenden Elektrizität nach „absolutem Maß“ während einer gegebenen Zeit, d. h. die Stromintensität zu messen.

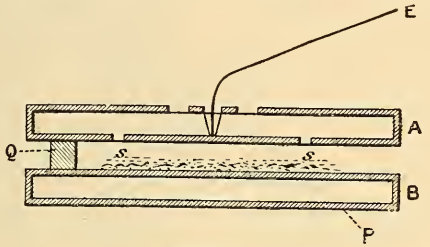


Fig. 2.

Diese Messung ist von der Empfindlichkeit des Elektrometers unabhängig.

Der in Fig. 2 abgebildete Kondensator *A B* stellt eine vervollkommnete, von Herrn und Frau Curie erfundene Konstruktion dar. Er besteht aus 2 versilberten Glasplatten, welche in Isolierringe eingefaßt sind.

Die geschliffenen Glasplatten sind aus bestem Saint Gobain-Glas gefertigt und die Fehler der Ebenheit ihrer Oberflächen betragen nur 3 μ. Sie sind durch 3 kleine Untersätze von Bergkristall (*Q*) getrennt, deren optische Axen mit den Flächen der Platten parallel laufen.

Ein schmaler kreisförmiger unbelegter Streifen trennt die Versilberung der einen von diesen Platten vom Plattenrande, um den inneren Teil für die Messungen und einen äußeren Rand als Schutzstreifen herzustellen. Ein kleines Loch in der oberen Platte *A* ist dazu bestimmt, eine elektrische Verbindung

mit dem inneren Teil der Versilberung herzustellen. Die Furche SS des Isolierringes ist ziemlich schmal.

Dieser Kondensator entspricht fast nach allen Richtungen den Bedingungen, welche die Theorie zu stellen vermag. Indem man die Akkumulatorenbatterie P in Verbindung mit der Platte B bringt und ihren Schutzring mit der Erde in Verbindung setzt, sammelt sich Elektrizität auf der Platte A, welche mit dem Elektrometer E verbunden ist. Abraham[1]) hat eine sehr genaue Methode für die Messung der Abstände der beiden Platten veröffentlicht.

Bezüglich des piezoelektrischen Quarzes, Fig. 3, welchen Herr und Frau Curie angewendet haben, halten wir eine kurze Beschreibung an dieser Stelle für angebracht, um sein Prinzip zu erklären.

Das genannte Instrument besteht in der Hauptsache aus einem Quarzstreifen, an welchem sich eine Zugkraft, hervorgerufen durch Gewichte, welche auf eine Wageschale aufgelegt werden, äußert. Diese mechanische Wirkung erzeugt auf den Seitenflächen des Quarzstreifens Elektrizität.

Der Quarzstreifen $a\,b\,c\,d$ (Fig. 4) ist an seinen beiden Enden bei H und B mit Polschuhen versehen und an seinem oberen Ende H fest aufgehängt; sein unteres Ende B ist bestimmt, die Wageschale mit den Gewichten aufzunehmen, zu welchem Zwecke der untere Polschuh mit einem Haken versehen ist.

Die optische Achse des Quarzkristalles befindet sich in der Längsachse $a\,b$ des Streifens, während seine Flächen rechtwinklig zu einer der binären Achsen (oder elektrischen Achsen) liegen. Damit läßt sich ein senkrechter Zug rechtwinklig auf die optische und die elektrischen Achsen des Kristalles ausführen.

Die beiden Flächen des Quarzstreifens sind versilbert. In den Versilberungen beider Seiten hat man bei $m\,n$ und $m'\,n'$ schmale Isolierungsstreifen gezogen, um die Polschuhe von den Belegungen zu isolieren. Die Elektrizität sammelt man auf den isolierten Belegungen mit Hilfe von 2 Kupferstreifen $r\,r$ und $r\,r'$, deren jeder auf einer Seite sich befindet, um als Kontakt mit dem übrigen Apparat zu dienen. Legt man nach genauer Adjustierung des Apparates Gewichte auf die Wag-

[1]) Abraham, Thèse, Faculté des Sciences. 1892.

schale, so ruft man gleiche Elektrizitätsmengen aber von entgegengesetzten Vorzeichen auf beiden Flächen des Quarzstreifens hervor. Entfernt man die Gewichte wieder, so dauert zwar die Entwickelung noch fort, es tritt aber Umkehrung der Vorzeichen der auf jeder Seite erzeugten Elektrizität ein. Die so erzeugte

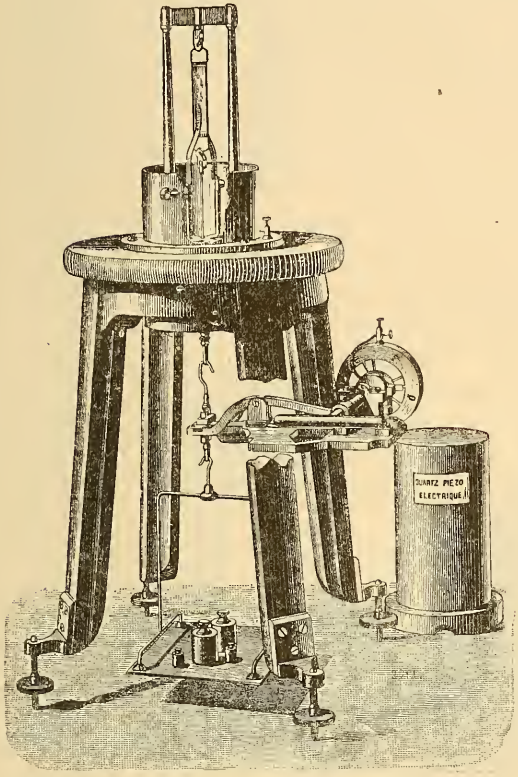


Fig. 3.

Fig. 4.

Menge von Elektrizität ist proportional der verschiedenen Stärke der Zugkraft F.

Man erhält folgende Beziehungen der Größen zueinander:

$$q = 0{,}063 \frac{L}{e} \cdot F.$$

L ist die Länge $m\,m'$ der versilberten nutzbaren Fläche des Quarzstreifens, e die Dicke des Streifens, F wird ausge-

drückt in Kilogramm und q wird gegeben in elektrostatischen Einheiten des C G S-Systems.

Aus der obigen Gleichung ist ersichtlich, daß man einen möglichst langen und dünnen Quarzstreifen verwenden muß. Der Streifen ist übrigens in eine Metallhülle eingeschlossen,

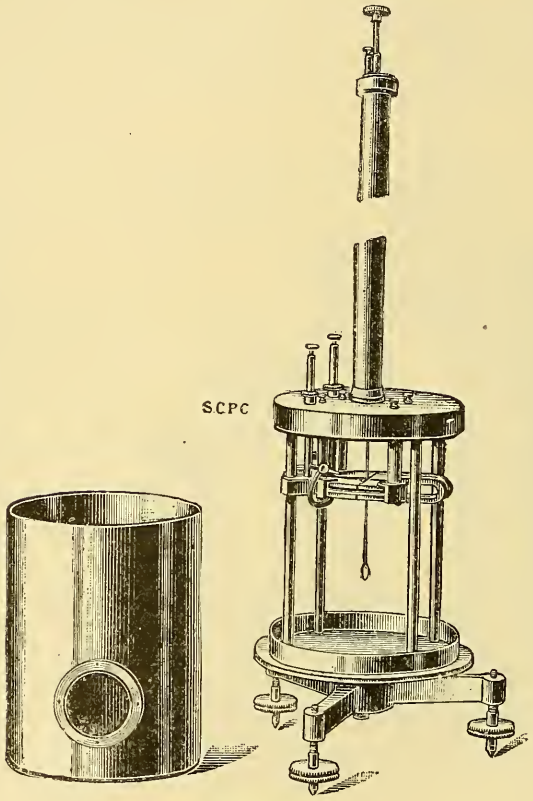


Fig. 5.

welche mit Schwefelsäure ausgetrocknet ist. Diese Metallhülle, alle sonstigen metallenen Stücke des Apparates und die Polschuhe des Quarzstreifens stehen in dauernder Verbindung mit der Erde. Eine Fläche des Quarzstreifens ist in Verbindung mit der Erde, die andere mit dem Elektrometer.

Hinsichtlich der Empfindlichkeit des Apparates, seiner Montage und der Bestimmung seiner Konstanten mag hier auf

folgende Werke verwiesen werden: Journal de Physique. 1882, Note von Herrn und Frau Curie in Annales de Physique et Chimie. 1889, und Note des Herrn J. Curie in Lumière électrique; Abhandlung über Kristallographie von Mallard und de Soret, Comptes rendus de l'Academie. 1886; Note von J. Curie, Journal „La Lumière électrique". 1888; endlich Note von P. Curie, Comptes rendus. 1892.

Das hierbei verwendete Elektrometer ist ein aperiodisches von Curie, eine Abänderung des Thomsonschen oder d'Arsonvalschen Elektrometers (Fig. 5).

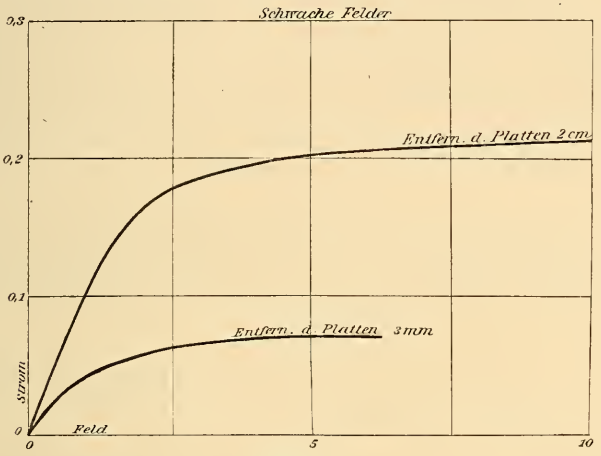


Fig. 6.

Mit einiger Übung gelingt es, ein Gewicht nach dem andern auf die Wageschale des Quarzstreifens zu bringen, indem man diese mit der Hand unterstützt und fortschreitend so belastet, daß man das Elektrometer dauernd auf dem Nullpunkt erhält. Wenn das Handgelenk richtig unterstützt ist, erwirbt die Hand sehr bald eine erstaunliche Feinfühligkeit, um in jedem Augenblick die Zugkraft des Gewichtes angemessen auf die Schale wirken zu lassen.

Die Stromintensität zwischen den Kondensatorplatten wächst mit deren Oberfläche. Für einen gegebenen Kondensator und eine gegebene Substanz wächst der Strom mit der Potentialdifferenz zwischen den Kondensatorplatten, mit dem Gasdruck und mit dem Abstande der Platten unter sich.

Für große Potentialdifferenzen nähert sich die Stromintensität einem konstanten Grenzwert, das ist der Sättigungs- oder Grenzstrom. Letzteren hat Frau Curie als Maß für die Radioaktivität bei allen ihren Messungen angenommen, während der Kondensator innerhalb eines Glasgehäuses bei gewöhnlichem Luftdruck stand.

In Nachstehendem sollen zwei Versuche beschrieben werden, bei welchen die Abszissen die Werte des elektrischen Feldes in Volt, die Ordinaten die Stromintensität in Ampère bedeuten.

1. Schwache Felder. Schwache Potentialdifferenz.

Aus dem vorstehenden Diagramm (Seite 11) ersieht man, daß für schwache Potentialdifferenzen der Quotient aus Stromintensität und Potentialdifferenz konstant ist. Man sieht, daß mit dem Anwachsen der Potentialdifferenz die Kurve in eine gerade Linie übergeht, die mit den Abzissenachsen parallel läuft.

2. Starke Felder. Starke Potentialdifferenz.

Das folgende Diagramm Fig. 7. zeigt, daß die Stromintensität auch für starke Potentialdifferenzen konstant wird. Dies

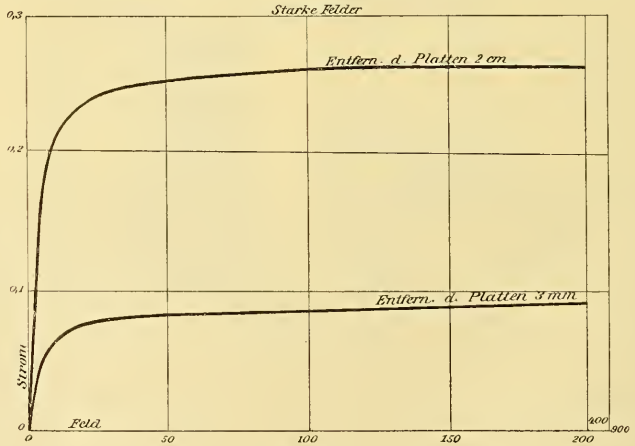


Fig. 7.

ist der Grenzstrom, welcher allgemein zur Messung der Radioaktivität benutzt wird.

Der Grenzstrom, welchen man mit Uranverbindungen erhält,

ist von der Größenordnung 10^{-11} Ampère für einen Kondensator von 8 cm Durchmesser, also etwa 50 cm^2 Oberfläche bei 3 cm Plattenabstand.

Übrigens ist diesen Zahlen nur ein relativer Wert beizumessen. Thoriumverbindungen, desgleichen Thorium- und Uraniumoxyde haben ähnliche Aktivität. Über die Leitungsfähigkeit der atmosphärischen Luft und der Gase unter dem Einflusse der Becquerelstrahlen sind sehr ausführliche Studien gemacht worden.[1])

Frau Curie hat folgende Zahlen für den Wert i der Stromintensität gefunden.

	$i \cdot 10^{11}$
Metallisches Uranium (ein wenig Kohle enthaltend) .	2,3
Schwarzes Uranoxyd, U_2O_5	2,6
Grünes „ , U_3O_4	1,8
Ammoniumuranat	1,3.

Für Uransalze hat dieselbe Forscherin festgestellt, daß die Dicke der gleichmäßig auf die Kondensatorplatten aufgetragenen Schicht wenig oder gar keinen Einfluß ausübt.

	Dicke der aufgetragenen Schicht	$i \cdot 10^{11}$
Uranoxyd	0,5 mm	2,7
„	3,0 mm	3,0.

Man darf hieraus mit Recht schließen, daß die Substanz selber viel Becquerelstrahlen verschluckt, und aus dem Grunde der Schicht keine Strahlen durch diese hindurch läßt.

Anderseits hat Frau Curie[2]) bei den Thoriumsalzen folgendes festgestellt.

1. Die Dicke der Schicht übt einen bedeutenden Einfluß aus, zumal bei den Oxyden;

2. Die Messungsresultate stimmen nur für dünne Schichten von 0,25 mm überein, während sich für solche bis zu 6 mm Dicke sehr verschiedene Zahlen ergeben.

---

[1]) Becquerel, Comptes rendus. 1897. — Lord Kelvin, Beattie und Smolan, Royal Soc. Edinb. **21**. 1897. S. 417. — Nature. **56**. S. 897. — Beattie und Smoluchowsky, Phil. Mag **43**. S. 418. — Rutherford, Phil. Mag. **47**. S. 109. — Child, Wied. Ann. **47**. 1899. S. 109.

[2]) Frau Curie, Comptes rendus. April 1898.

	Dicke der Schicht	$i \cdot 10^{11}$
Thoriumoxyd . . .	0,25 mm	2,2
„ . . .	2,5 „	4,7
„ . . .	6,0 „	3,7—7,3.

Man ersieht hieraus, daß die Thoriumstrahlen viel durchdringender sind als die Uranstrahlen.

Owens[1]) hat festgestellt, daß Thoriumstrahlen nur im geschlossenen Raume und erst nach Ablauf einer gewissen Zeit einen konstanten Strom liefern, und daß die Stromstärke durch einen Luftstrom stark vermindert wird, welcher eine Art von Emanation hinweg zu führen scheint. Diese Hypothese ist von Rutherford[2]) aufgestellt worden, welcher annimmt, daß diese Emanation aus sehr kleinen materiellen Partikeln besteht, welche in einem gewissen Zusammenhange fortgeführt werden. Diese Eigenschaften sollen in einem besonderen Kapitel „Über die induzierte Radioaktivität" ausführlicher behandelt werden.

Man gelangt zu der Ansicht, daß die Radioaktivität eine atomistische Eigenschaft sei.

Becquerel hat gezeigt, daß metallisches Uranium stärker radioaktiv ist als seine Salze, daß inaktive Substanzen als Beimengungen die Radioaktivität vermindern, indem sie teils als träge, untätige Masse wirken, teils die Strahlungen der aktiven Masse verschlucken.

Frau Curie hat sehr zahlreiche Versuche behufs Feststellung der Radioaktivität auch nach der Richtung hin gemacht, ob diese etwa nur eine Sondereigenschaft gewisser Körper unter Ausschluß aller anderen sei. Sie hat alle bekannten Metalle und Metalloide, die seltenen Körper, wie z. B. Gallium, Germanium, Neodymium, Niobium, Skandium, Erbium, Rubidium, Yttrium u. a. m., auch Felsarten und viele Mineralien untersucht und festgestellt, „daß keiner dieser Körper radioaktiv war, außer wenn er Uranium oder Thorium enthielt."

Merkwürdigerweise haben diese beiden Metalle auch das höchste Atomgewicht: Uranium 240, Thorium 232.

Über diejenigen Metalle, welche Uranium und Thorium enthalten, hat Frau Curie folgendes Verzeichnis aus ihren

---

[1]) Owens, Phil. Mag. Oktober 1899.

[2]) Rutherford, Phil. Mag. Januar 1900.

zahlreichen Versuchen zusammengestellt, in welchem die Stromstärke i des Grenzstromes in Ampère ausgedrückt ist.

	$i \cdot 10^{11}$
Metallisches Uranium	2,3
Pechblende von Johanngeorgenstadt	8,3
„ „ Joachimstal	7,0
„ „ Přibram	6,5
„ „ Cornwallis	1,6
Cleveït	1,4
Chalcolith	5,2
Autunit	2,7
Carnotit	6,2
Thorit	0,1—1,4
Orangit	2,0
Monazit	0,5
Samarskit	1,1.

Aus diesem Verzeichnis erhellt die unerwartete Tatsache, daß Pechblenden etwa 3 bis 4 mal stärker radioaktiv sind als metallisches Uranium, d. h. einen 4 mal so starken Grenzstrom liefern; Chalcolith einen 2 mal so starken; Carnotit einen ungefähr 3 mal so starken. Hierin scheint ein formeller Widerspruch gegenüber den zuvor angeführten Tatsachen zu liegen, denen zufolge mit metallischem Uranium und Thorium das Maximum erreicht werden sollte.

Unter der Herrschaft dieses vermeintlichen Widerspruches unternahm Frau Curie weitere Versuche. Sie bereitete auf künstlichem Wege Chalcolith, kristallisiertes Urankupferphosphat, welches eine sehr normale ungefähr $2^1/_2$ mal geringere Aktivität als Uranium besaß; hieraus schloß sie, daß in den von ihr untersuchten natürlichen Mineralien eine noch unbekannte, stark radioaktive Substanz enthalten sein müsse, deren Gewinnung sie sich nunmehr als nächstes Ziel ihrer Arbeiten gesteckt hat.

Zweites Kapitel.

Entdeckung der neuen radioaktiven Substanzen. — Polonium. — Radium. — Aktinium.

Entdeckung. Die Schwierigkeit der fraglichen Entdeckungen leuchtet sofort ein, wenn man erwägt, daß von jenen Substanzen nichts weiter bekannt war als ihre Radioaktivität und daß sich annehmen ließ, es könne nur eine sehr geringe Menge davon vorhanden sein. Die Radioaktivität allein diente dem Ehepaar Curie als Führer.

Theoretisch ist die Untersuchungsmethode sehr einfach und beschränkt sich darauf, die Radioaktivität eines Minerals zu messen, wie wir es im vorigen Kapitel beschrieben haben, darauf eine chemische Trennung seiner Elemente vorzunehmen und zu ergründen, ob die gesamte Radioaktivität von einem einzigen Urstoffe ausgeht, oder unter mehrere sich verteilt, und wenn letzteres der Fall ist, die Untersuchung auf diese Stoffe auszudehnen. Praktisch sind die Schwierigkeiten groß, denn man kennt nicht die Anzahl der radioaktiven Substanzen, welche in dem zu untersuchenden Mineral sich befinden, und noch weniger weiß man, ob nicht etwa induzierte Radioaktivität vorhanden, ob die Radioaktivität nur vorübergehend bei den einzelnen Stoffen des Minerals vorhanden war, und ob diese Stoffe solche Eigenschaft nach einigen Stunden, oder vielleicht erst nach einigen Monaten wieder verlieren würden.

Die Spektralanalyse bietet ein ziemlich unvollkommenes Mittel zur Erkennung, denn diese Methode, obgleich sehr empfindlich, ist es doch nicht in dem Maße, wie die radioaktive Untersuchungsmethode.

Im Jahre 1898 bestimmten Herr und Frau Curie[1]) ein

[1]) Frau Curie, Comptes rendus. **126**. 1898. S. 1101. — Herr u. Frau Curie, Comptes rendus. **127**. 1898. S. 175.

neues Element, dessen chemische Eigenschaften denjenigen des Wismuts sehr nahe standen, als dessen Begleiter es auch auftrat. Dieses neue Element benannte Frau Curie nach dem Namen ihres Vaterlandes „Polonium“.

Beiläufig mag hier daran erinnert werden, daß die Gewohnheit, neu entdeckten Metallen bizarre Namen nach Ländernamen zu geben, von Herrn Lecoq de Boisbaudran herrührt, welcher seinerzeit das von ihm entdeckte Metall „Gallium“ nach seinem ins Lateinische übersetzten Namen benannte; ein Deutscher entdeckte das „Germanium“, ein Schwede das „Scandium“; es läßt sich nicht leugnen, daß solche Bezeichnungen ebenso sinnlos sind, wie bei Mineralien die Benennungen nach ihren Entdeckern.

Einige Zeit später bestimmten Herr und Frau Curie in Gemeinschaft mit Herrn Bémont[1]) ein anderes Metall aus der Familie des Baryums, welches sie „Radium“ benannten.

Schließlich wurde im folgenden Jahre durch Herrn Debierne[2]), Préparateur bei der Faculté des Sciences, ein drittes Metall charakterisiert, welches das Thorium begleitete und diesem sehr ähnliche Eigenschaften besitzt. Er nannte es „Aktinium“.

Das Polonium hatte man als basisch salpetersaures Doppelsalz, nämlich verbunden mit Wismutsubnitrat, erhalten; wenn man dieses Salz mit Cyankalium zusammenschmilzt, so erhält man eine Legierung von Wismut mit Polonium als Regulus.

Das Radium wurde als Chlorid, vermengt mit Baryumchlorid, hergestellt. Um ersteres von letzterem abzuscheiden, benutzt man dessen geringe Löslichkeit in alkoholhaltigem oder mit Salzsäure angesäuertem Wasser. Infolge mehrfacher fraktionierter Kristallisation erhält man schließlich die am stärksten radioaktiven Salze.

Das Aktinium rein und vom Thorium getrennt zu erhalten, ist bisher noch nicht gelungen. Es war nicht möglich, aktinisches Thorium von den Metallen der Eisengruppe, welche in der Pechblende sich vorfinden, zu trennen.

Die radioaktiven Körper sind in der „Pechblende“ in

[1]) Herr u. Frau Curie, M. Bémont, Comptes rendus. **127**. 1898. S. 1215.

[2]) Debierne, Comptes rendus. 1899. **130**. 1900. S. 593.

nur sehr geringen Mengen enthalten, und man benutzt deshalb als Ausgangsmaterial ein schon stärker konzentriertes Produkt aus der Pechblende.

Die österreichische Regierung hat nämlich auf Ansuchen Michel Lévys, Mitglied des Institut de France, und mit freundlicher Hilfe des Professor Suess in Wien an Herrn Curie eine Tonne Rückstand überlassen, welcher von der Behandlung von Pechblende behufs Gewinnung von Uranium herstammte. Diese Pechblende war in den staatlichen Hüttenwerken zu Joachimstal in Böhmen bearbeitet worden.

Sodann hat Debierne die Weiterbehandlung dieser Rückstände in den Fabriken der Société centrale des Produits chimiques (ancienne Maison Rousseau) organisiert, welche Gesellschaft bereitwilligst die Weiterbehandlung und einen Teil der Fraktionierungen unter recht erschwerenden Umständen übernommen hat. Seit kurzem hat aber die genannte Gesellschaft die Debiernesche Methode nach meinen Angaben umgestaltet und erzielt mit dem neuen Verfahren ausgezeichnete Erfolge.

In Joachimstal röstet man zuerst die Pechblende, welche Uranoxyd enthält, mit Soda und laugt darauf das Röstgut mit warmem, durch Schwefelsäure angesäuertem Wasser aus. Die Lösung enthält Uranium, und der Rückstand dieser Lösung ist das zur Weiterbehandlung dienliche und am meisten geeignete Produkt.

Allerdings ist dieses ein Gemenge vieler Stoffe, es besteht hauptsächlich aus Sulfaten von Blei und Kalk, ferner aus Silicium, Aluminium und Eisenoxyd. Außerdem finden sich fast alle Metalle darin vor, nämlich Kupfer, Wismut, Zink, Kobalt, Mangan, Nickel, Vanadin, Antimon, Thallium und seltene Erdmetalle, Niobium, Tantal, Arsen, Baryum usw. Das Radium befindet sich in dieser Mischung als Sulfat und bildet mit Baryum den unlöslicheren Teil.

Es würde zu weit führen, wenn hier auf die Beschreibung der Einzelheiten der weiteren chemischen Behandlung eingegangen werden sollte, indes muß bemerkt werden, daß man zur Verarbeitung einer Tonne Rückstand ungefähr 5 Tonnen chemischer Produkte und 50 Tonnen Waschwasser nötig hat. Man erhält schließlich daraus 8 kg radiumhaltiges Baryum-

chlorid, dessen Aktivität ungefähr 60mal stärker ist als die des metallischen Uraniums. Hieraus erhellt genugsam die sehr umständliche und zeitraubende Fabrikationsmethode.

Nunmehr schreitet man zur Fraktionierung der Chloride und verfährt dabei nach der Gieselschen Methode. Giesel hat nämlich gezeigt, daß die Fraktionierungen durch Überführung der Chloride in Bromide besonders zu Anfang der Operation die folgenden Arbeiten bedeutend erleichtern. Man erhält allerdings aus 1 Tonne Rückstand nur wenig mehr als 0,3 g Radiumbromid. Diese außerordentlich geringe Ausbeute in Anbetracht des großen Aufwandes an Material und Arbeitsleistung erklären den hohen Preis des Radiumbromids, welches zur Zeit der teuerste Körper ist, den es gibt.

Auf die Beschreibung der Herstellung von Polonium wird hier Verzicht geleistet, weil dieses nur Anlaß zu Verdruß gegeben hat und seine Existenz wegen Verlust seiner Aktivität sogar in Zweifel gezogen worden ist. Diese problematische Existenz kann ebensowohl den anhängenden Bleiprodukten vermöge deren chemischen Eigenschaften vindiziert werden, als einem selbständigen Körper, wie Giesel, Hoffmann und Strauß behaupten.

Das Aktinium kommt vorläufig noch seltener vor als Radium; man hat es wenigstens bisher nicht als reines Salz darzustellen vermocht. Debierne, Giesel, Crookes und Becquerel ist es geglückt, aus den Uransalzen eine gewisse Menge stark aktiver Substanz zu gewinnen, welche Aktinium zu sein scheint; gereinigtes Uranium ist weniger aktiv; ja man kann ihm sogar seine ganze Aktivität entziehen, und daraus glaubt man schließen zu dürfen, daß Uranium an und für sich überhaupt nicht radioaktiv sei, sondern die Eigenschaft der Aktivität erst durch die Anwesenheit von Aktinium erhalte.

Herr Curie versichert, daß Baryumchlorid an und für sich keine Spur von Radium enthält, und auch die Société centrale des Produits chimiques hat mit 50kg Baryumchlorid Handelsware Versuche in dieser Hinsicht angestellt, welche das gleiche negative Resultat ergeben haben.

Das Spektrum des Radiums. Radium allein ist bisher unter allen übrigen radioaktiven Substanzen als reines Salz gewonnen worden, und zwar hat die Spektralanalyse hierüber unzweifelhafte Aufschlüsse verschafft.

Die bezüglichen Untersuchungen sind von Demarçay gemacht worden, dessen allzufrüher Tod eine sehr fühlbare Lücke in der wissenschaftlichen Welt hinterlassen hat. Die von ihm festgestellte Methode der Spektraluntersuchung ist nicht nur außergewöhnlich genau, sondern auch hervorragend geistreich.

Seine Versuche mit den ersten Proben schwach radioaktiven Baryumchlorids schienen ihm nämlich zu bestätigen, daß gleichzeitig mit den Baryumlinien eine neue Linie von bemerkenswerter Intensität im Ultraviolett des Spektrums vorhanden war.

Mit einem sehr konzentrierten Produkt konnte Demarçay[1]) neben zwei schwach sichtbaren Baryumlinien 12 charakteristische Linien feststellen, von denen 3 sich als besonders intensiv auszeichneten.

Diese Linien sind im Maximum ihrer Intensität so scharf wie die schärfsten der bisher bekannten Körper; die Anwesenheit von zwei nebelhaften Bändern klassifiziert das Radium unter die seltenen alkalischen Erden. Nach Demarçay kann man das Radium zu den Körpern von allerempfindlichster Spektralreaktion rechnen; nichtsdestoweniger bedarf es eines Salzes von 50mal größerer Aktivität als der des metallischen Uraniums, um die Hauptlinien des Radiums in den photographischen Spektren deutlich zu erkennen, während man mit einem empfindlichen Elektrometer schon eine Radioaktivität von $^1/_{100}$ des metallischen Urans zu entdecken vermag.

Weder sehr aktives Wismut-Polonium, noch aktives Thorium-Aktinium ergaben charakteristische Linien. Giesel[2]) hat neuerdings nachgewiesen, daß Radiumbromid die Flamme eines Bunsenbrenners karminrot färbt.

Bestimmung des Atomgewichts des Radiums. Diese Bestimmung hat Frau Curie[3]) auf chemischem Wege gemacht, indem sie das in einer bestimmten Menge wasserfreien Chlorids enthaltene Chlor als Chlorsilber ausschied. Bei Beginn ihrer Versuche standen ihr nur die geringen Gewichtsmengen von 0,5g Radium- und Baryumchlorid zur Verfügung, in der Folge benutzte sie 0,1 g allerdings sehr stark konzentrierter Substanz.

[1]) Demarçay, Comptes rendus. Dezember 1898 und Juli 1900.
[2]) Giesel, Phys. Zeitschr. 15. Septbr. 1902.
[3]) Frau Curie, Compt. rend. 13. Nov. 1899; Aug. 1900; 21. Juli 1902.

Zuerst bestimmte sie das Atomgewicht des Baryums zu 137,5. Bei den ersten Bestimmungen, welche mit Chloriden von 230 bis 600mal stärkerer Aktivität als diejenige des metallischen Urans gemacht wurden, fand man das Atomgewicht nicht wesentlich verschieden von dem des Baryums. Merkwürdigerweise fand man auch, daß das Atomgewicht sich im Verhältnis zur steigenden Aktivität vermehrte, indem man jede neue Probe spektralanalytisch untersuchte.

In folgender Tabelle sind die Ergebnisse der Curieschen Arbeiten niedergelegt.

Aktivität.	Atomgewicht.	Spektrum.
3500	140	Schwaches Radiumspektrum.
4700	141	
7500	145,8	Starkes Radiumspektrum, das Baryumspektrum überwiegt.
Größenordnung 10^6	173,8 225	Beide Spektren sind gleich. Von Baryum nur noch Spuren.

Gegenwärtig ist die Zahl **225** allgemein als das richtige, bis auf die Einer genaue Atomgewicht angenommen; allen Untersuchungen liegt die chemische Formel $RaCl_2$ zu Grunde, indem man das Radium als zweiwertig betrachtet.

Die Wägungen wurden mit einer aperiodischen Curieschen Wage, welche $^1/_{20}$ Milligramm noch genau angibt, ausgeführt. Diese mit direkter Ablesung versehene Wage mißt so schnell, daß man die langsame Austrocknung mit Chlorcalcium entbehren kann.

Das Radium ist in der Mendelejeffschen Tafel in der Kolumne der Erdalkalimetalle über Uranium und Thorium einrangiert.

Als Handelsware werden die Radiumsalze nach der Stärke ihrer Aktivität klassifiziert, indem man metallisches Uranium als Einheit annimmt. Was Aktivität bedeutet, haben wir weiter oben erläutert, und wiederholen hier, daß, wenn man von einem Salz mit der Aktivität 1000 spricht, man darunter ein Salz 1000 mal stärker aktiv als metallisches Uran versteht.

Bisher hatte man keine stärker aktiven Salze im Handel als von der Aktivität 300 000, was einem Baryumchlorid gleichkommt, das ungefähr $^1/_6$ seines Gewichts an reinem Radiumchlorid

enthält. Neuerdings aber gibt es reines Radiumbromid, dessen Aktivität an 1 800 000 heranreicht.

Diese Zahlen von sehr starker Aktivität dürfen übrigens nur als annähernd richtig betrachtet werden, denn die elektrischen Messungen mit Hilfe des piezoelektrischen Quarzes sind sehr umständlich und schwierig, weil man keine Ladung über 4000 g auf die Platte bringen darf, und diese nur eine Elektrizitätsmenge von 25 elektrostatischen Einheiten freimacht. Zwischen 1 und 4000 wendet man stets die gleiche Oberfläche der aktiven Substanz auf der Platte *B* des Kondensators an. Für stärkere Aktivitäten muß man dann eine durch Versuche erprobte Vergrößerung der Oberfläche benutzen. Da die Aktivität unter diesen Bedingungen nicht genau der Oberfläche proportional ist, so muß man empirische Koëffizienten bestimmen, die eine Vergleichung der Aktivitäten bei ungleicher Oberfläche ermöglichen. Für ganz starke Aktivitäten wendet man absorbierende Schirme an.

Drittes Kapitel.

Untersuchungen über die Natur der Strahlungen.

Die Becquerelstrahlen, welche die neuen Substanzen aussenden, erweisen sich bedeutend stärker, als diejenigen des Uraniummetalls. Im vorigen Kapitel war schon festgestellt, daß die Messung von starken Aktivitäten große Schwierigkeiten bereitet. Bei dem metallischen Uranium verläuft die Kurve, wie wir im ersten Kapitel Fig. 7 gesehen haben, parallel mit der Abscissenachse, sobald die Intensität des elektrischen Stromes auf 100 Volt wächst; für stark radioaktive Snbstanzen wächst dagegen der Wert von i (Intensiät des Stromes) rapid, und man kann niemals den Grenzstrom erreichen; dazu kommt, daß ein Teil der Strahlen, welche sehr stark durchdringend sind, durch die Kondensatorplatten geht und für die Leitungsfähigkeit der Luft, um sie zu „ionisieren", nicht zur Geltung kommt.

Die Untersuchung der Strahlungen läßt sich nach 3 verschiedenen Methoden ausführen:

1. Die radiographische Methode, bei welcher man photographische Platten benutzt.

2. Die fluoroskopische Methode, bei der man die Fluoreszenz beobachtet.

3. Die elektrische Methode, bei der man die Ionisierung der Luft, d. h. ihre Leitungsfähigkeit zum Maßstab nimmt.

Die beiden ersten Methoden sind zu wirklichen Messungen nicht zu gebrauchen, sie können höchstens als grobes Schätzungsmittel dienen.

Nur die elektrische Methode eignet sich zu Forschungszwecken, und selbst diese genügt kaum für das Studium der starken Aktivitäten. Im übrigen darf nicht übersehen werden, daß bei allen drei Methoden jeder der verwendeten Rezeptoren,

nämlich die photographische Platte, der fluorescierende Schirm und die Luft, jedes einen Teil der Strahlungen in einer ihm besonders eigenen Weise verschluckt; hieraus ersieht man, daß ein absoluter Vergleich zwischen den drei Methoden nicht möglich ist.

Zusammensetzung der Strahlungen. Die seitens der bekannten Forscher Becquerel, Meyer, von Schweidler, Giesel, Villard, Rutherford, Herr und Frau Curie gemachten Untersuchungen haben erwiesen, daß das Wesen der

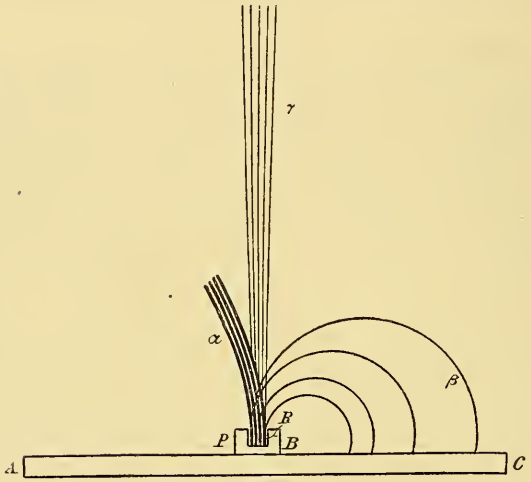


Fig. 8

Strahlungen von sehr verwickelter Natur ist, und daß man es mit mehreren Strahlenarten zu tun hat.

Um eine Trennung der verschiedenen Strahlenarten zu veranschaulichen, denke man sich, daß folgender theoretische Versuch ausführbar wäre.

In eine Vertiefung des Bleiblocks P wird Radium gelegt und ein geradliniges, schmales Strahlenbündel tritt aus dieser Vertiefung hervor. Sobald man ein sehr starkes und gleichmäßiges magnetisches Feld senkrecht unter dem Strahlenbündel wirken läßt, so werden die Strahlen in drei Gruppen gespalten, welche Rutherford als α-, β-, γ-Strahlen bezeichnet hat.

1. α-Strahlen. Diese Strahlen sind sehr durchdringend,

sie machen die größte Menge der gesamten Strahlung aus und sind durch ihre Absorptionsgesetze charakterisiert, die wir später kennen lernen werden. Sie sind ablenkbar durch das magnetische Feld wie die Kathodenstrahlen, aber im entgegengesetzten Sinne, nämlich wie die Kanalstrahlen Goldsteins. Ihre Ablenkungskurve ist beträchtlich, aber immerhin weniger gekrümmt als die der β-Strahlen und im entgegengesetzten Sinne wie diese.

2. β-Strahlen. Die β-Strahlen sind viel durchdringender als die vorigen, und sind ablenkbar in demselben Sinne wie die Kathodenstrahlen. Einige von ihnen sind sogar sehr ablenkbar. Eine photographische Platte, in $B\,C$ angebracht, empfängt starke Eindrücke.

3. γ-Strahlen. Diese Strahlen sind den Röntgenstrahlen analog, sehr stark durchdringend, aber wenig intensiv und unempfindlich gegen das magnetische Feld.

Nunmehr zum Studium der charakteristischen Eigenschaften der Strahlen übergehend, sollen zunächst ihre Ablenkung durch ein magnetisches Feld, ihre elektrische Ladung und ihre Durchdringungskraft betrachtet werden.

Eigentlich hätten diese Untersuchungen an frühere Stelle, vor das vorige Kapitel hingehört, indes zum besseren Verständnis und der Klarheit halber schien es in diesem Falle geratener, von der logischen Folge abzuweichen.

Wirkung des magnetischen Feldes. Die Untersuchungen auf diesem Gebiete sind fast gleichzeitig von Giesel, Meyer, von Schweidler und Becquerel gemacht worden[1]). Letzterer wandte die radiographische Methode an mit einem Apparat, wie solcher in Fig. 8 abgebildet ist. Das magnetische Feld muß man sich senkrecht hinter der Zeichnung liegend vorstellen; bei $B\,C$ liegt die photographische Platte in schwarzes Papier eingehüllt, welche durch die β-Strahlen beeinflußt werden soll. Die halbkreisförmigen Kurven dieser Strahlen treffen die Platten rechtwinklig, auf welcher sie Eindrücke hinterlassen, nämlich ein diffuses Bild, etwa wie von einem aus ungleich-

[1]) Giesel, Wied. Ann. 2. Nov. 1899. — Meyer u. v. Schweidler, Ann. Anzeiger. Wien 3. u. 9. Nov. 1899. — Becquerel, Comptes rendus. 11. Dezbr. 1899.

mäßig ablenkbaren Strahlen erzeugten Spektrum. Wenn man $B\ C$ mit absorbierenden Blenden bedeckt, so wird der Teil des Spektrums unterdrückt, welcher aus den am meisten ablenkbaren Strahlen besteht, die auch die am stärksten gekrümmten Kurven haben und am meisten absorbierbar sind.

Herr Curie hat sich zu seinem sehr gründlichen Studium der elektrischen Methode unter Benutzung des untenstehenden Apparats bedient (Fig. 9).

Man erzeugt vermittelst eines Elektromagneten in $E\ E\ E\ E$ ein magnetisches Feld, senkrecht zur Zeichnungsebene liegend, und plaziert den radioaktiven Körper A zwischen den Bleimassen $B\ B'$ und B'' und den Polschuhen des Elektromagneten. Dann sendet der radioaktive Körper Strahlen in der Richtung $A\ D$ zwischen die Platten P und P'. Die Platte P wird vermittelst einer Batterie auf einem Potential von 500 Volt erhalten, die Platte P' ist mit einem Elektrometer und einem piezoelektrischen Quarz verbunden. Nun mißt man die Stärke des Stromes, unter dessen Einfluß die Luft leitend geworden ist, nach der im ersten Kapitel näher beschriebenen Methode. Lenkt man die Strahlen ab, so werden sie durch die Bleimassen B und B' verschluckt.

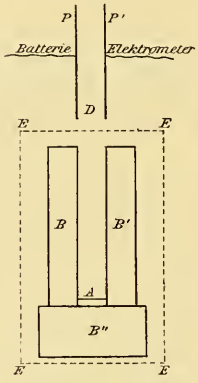


Fig. 9.

Die Strahlen des radioaktiven Körpers zerstreuen sich geradlinig in der Luft, wie im luftleeren Raum.

In freier Luft wirken sie auf einen Abstand von 2—3 m auf einen Kondensator, aber dazu sind sehr stark radioaktive Körper erforderlich, denn sind nur die Luft selber wirkt absorbierend, sondern auch die Wirkung der Strahlen nimmt im umgekehrten Verhältnis des Quadrats der Entfernung zwischen Strahlungsquelle und Kondensator ab. Die größte Menge der Strahlen bilden, wie schon oben erwähnt, die α-Strahlen, welche auf 70 mm durch die Luft vollständig absorbiert werden. Wenn der Abstand AD, welcher mit d bezeichnet werden mag, kleiner ist als 65 mm für ein magnetisches Feld von 2500 Einheiten, so wird zwar ein Teil abgelenkt, aber eine Vermehrung der Strahlung tritt selbst bei einer Erhöhung der Feldstärke bis auf 7000 elektrische

Einheiten nicht ein. Dies beweist die Leichtigkeit, mit welcher die β-Strahlen abgelenkt werden können.

Legt man ohne magnetisches Feld für die Menge der Strahlen bei einem im Kondensator gleichmäßig unterhaltenen Strome 100 zu Grunde, so erhält man für die verschiedenen Abstände den Prozentgehalt der nicht abgelenkten Strahlen nach Maßgabe der folgenden Tabelle.

Gleiche Radiumproben bei verschiedenen Abständen.

d in Millimeter	34	51	60	65
Abgelenkte Strahlen in Prozenten . .	74	56	33	11

Für kurze Abstände schließen die unabgelenkten Strahlen noch α- und γ-Strahlen ein; bei der Entfernung von mehr als 65 mm verbleiben sozusagen nur noch γ-Strahlen.

Für Abstände von 140 mm bis 1,57 m findet man bei Radiumproben von sehr starker Aktivität nur 11 bis 12% unablenkbare Strahlen, ausgenommen die darin enthaltenen γ-Strahlen. Die ersten Beobachtungen dieser Art wurden von Villard gemacht[1]). Ungefähr 90% der ablenkbaren Strahlen werden durch ein Feld von 2500 elektrischen Einheiten unterdrückt.

Bei kleinen Werten von d vermag man die α-Strahlen kaum von den γ-Strahlen zu unterscheiden; die ersteren, welche die größte Menge der Strahlung ausmachen, sind wenig abgelenkt und noch nicht durch Luft absorbiert. Hält man aber einen Aluminiumschirm dazwischen, so werden die α-Strahlen absorbiert und jenseits des Schirmes bleiben nur noch die stark durchdringenden Strahlen. Bei Abständen von 34 mm bis 51 mm saugen zwei Aluminiumblätter von je $^1/_{100}$ mm Dicke sämtliche α-Strahlen auf; für weitere Abstände als 51 mm genügt schon ein Aluminiumblatt.

Der den Schirm durchdringende Teil der ablenkbaren β-Strahlen macht nur einen sehr geringen Teil der Strahlung aus und spielt bei der Erregung der Leitungsfähigkeit der Luft eine unbedeutende Rolle.

Schließt man eine Radiumprobe in ein Glasröhrchen ein und mißt die unablenkbaren Strahlen im Verhältnis zu den verschiedenen Werthen von d nach Prozenten, so erhält man

[1]) Villard, Comptes rendus. **130**. S. 1010.

eine solche von 0,33 mm hat. Wenn man die Stromstärke auf die Einheit der Oberfläche 1 cm^2 bezieht, so erhält man $4 \cdot 10^{-12}$ Ampère; dies ist der Wert, welcher den hier gegebenen experimentellen Bedingungen entspricht. Die Stoffe, aus denen $M\,M$ und die Isolierschicht bestehen, üben keinerlei Einfluß auf die Stromstärke aus, höchstens könnte er durch größeren Abstand des Radiums von $M\,M$ oder durch Verwendung von schwächer aktiven Radiumsalzes vermindert werden.

Die α-Strahlen kommen bei diesem Versuche nicht in Betracht, weil sie sogleich absorbiert werden.

Die β-Strahlen sind es, welche die Elektrizität transportieren. Bisher hat man die Existenz von elektrischen Ladungen, welche nicht an Stoff gebunden sind, nicht gekannt.

Um das Wesen der Radiumstrahlen zu begreifen, muß man Zuflucht nehmen zu der ballistischen Hypothese von Sir W. Crookes und J. J. Thomson, welche die Kathodenstrahlen als Erzeugnis einer Fortschleuderung von Korpuskeln betrachten, hervorgebracht durch den elektrischen Funken im luftverdünnten Raume. Diese Korpuskeln vollführen ein Bombardement gegen die Glaswände der Röhren und dringen durch diese hindurch.

Die β-Strahlen haben die gleichen Eigenschaften wie die Kathodenstrahlen und verhalten sich auch wie diese.

Es scheint, daß ein Radiumpräparat, welches in einer dünnen Glasröhre, vollkommen isoliert, sich eingeschlossen befindet, auf ein hohes Potential sich laden muß, und zwar so lange, bis die Differenz zwischen Potential und umgebenden Leitern genügend groß wird, um die Wirkung der Abstoßung der fortgeschleuderten Partikeln in eine anziehende Wirkung umwandeln zu können.

Herr Curie hat ganz zufällig die Wirkung einer solchen Ladung auf ein hohes Potential beobachtet. Um Radium für eine Vorlesung vorzubereiten, wollte er nämlich das Röhrchen, worin es seit längerer Zeit eingeschlossen war, wechseln. Zu diesem Zweck machte er vermittelst eines Glasmessers einen Schnitt ins Glas und dabei sprang ein elektrischer Funke über. Man konnte deutlich das bekannte Geräusch hören und den Lichtschein sehen. Durch eine Lupe betrachtet, bemerkte Herr Curie ein feines Loch. An der Stelle, wo der Schnitt

angesetzt und das Glas dünner gemacht worden war, hatte der elektrische Funke die Glaswand des Röhrchens durchbohrt.

Diese Erscheinung ist durchaus ähnlich derjenigen, welche bei überladenen Leydener Flaschen beobachtet wird. Ein anderes Mal fühlte Herr Curie die Entladung an einem mit Radium gefüllten Glasröhrchen, welches er in Händen hielt, um es zu öffnen.

„Das Radium ist das erste Beispiel eines Körpers, der sich selbsttätig elektrisch ladet."

Energie der Strahlung. Becquerel[1]) hat die Beziehungen, welche zwischen den elektrischen Entladungen und der Menge der vom Radium ausgestrahlten Korpuskeln bestehen, untersucht.

Wenn ein Partikel der Masse m, welches eine negative elektrische Ladung e besitzt, mit einer Geschwindigkeit v fortgeschleudert wird, und zwar in einer gekrümmten Bahn, welche einen Krümmungsradius ϱ hat, während die Ebene dieser Bahn senkrecht steht zu einem gleichmäßigen magnetischen Felde von der Stärke H, dann gelten folgende Beziehungen:

$$\frac{m}{e} \cdot v = H \cdot \varrho.$$

Bei seinen Untersuchungen hat Becquerel gefunden, daß

$$\frac{m}{e} \cdot v = 1600.$$

Diese Zahl ist von derselben Größenordnung, wie solche von mehreren anderen Forschern, z. B. J. J. Thomson[2]), W. Wien[3]) und Lenard[4]) für die Kathodenstrahlen gefunden wurde, bei welchen sie sich zwischen 1030 und 1273 beläuft, sofern v zwischen $0{,}67 \cdot 10^{10}$ und $0{,}81 \cdot 10^{10}$ liegt.

Gemäß der Dornschen[5]) Versuche hat Becquerel[6]) die Ablenkungen untersucht, welche ein magnetisches Feld auf β-Strahlen verursacht und hat folgende Werte dafür gefunden,

[1]) Becquerel, Comptes rendus. **130**. 1900. S. 206.
[2]) J. J. Thomson, Phil. Mag. 5. Serie. **47**. 1897. S. 293.
[3]) W. Wien, Verh. d. Phys. Gesellsch. zu Berlin. **16**. 1897. S. 165.
[4]) Lenard, Wied. Ann. **64**. 1898. S. 279.
[5]) Dorn, Abh. Halle, März 1900.
[6]) Becquerel, Comptes rendus. **130**. 1900. S. 809.

indem er die Resultate von magnetischen und elektrischen Feldern vereinigte. Diese Werte sind:

$$v = 1{,}6 \cdot 10^{10} \text{ und } \frac{m}{e} = 10^{-7}.$$

Weiter oben war bereits davon die Rede, daß Herr und Frau Curie die Menge der ausgestrahlten Elektrizität von einer Oberfläche von 2,5 cm² sehr stark aktiven radiumhaltigen Baryumchloridschicht, die 0,2 cm dick war, auf die Größenordnung 10^{-11} Ampère bestimmt hatten. Dieses Resultat auf eine Oberfläche von 1 cm² bezogen, ergibt unter vorliegenden experimentellen Bedingungen: $4 \cdot 10^{-12}$ Ampère pro Sekunde.

Bezeichnet ferner N die Anzahl der in 1 Sekunde ausgestrahlten Partikeln und e die elektrische Ladung jedes einzelnen Partikels, dann erhält man

$$N \cdot e = 4 \cdot 10^{-12},$$

hieraus abgeleitet die Gesamtstromstärke der Strahlung

$$E = {}^1/_2 N \cdot m v^2,$$

wofür man auch schreiben kann:

$$E = {}^1/_2 Ne \cdot \frac{m}{e} v \cdot v,$$

und indem man die Werte für die Buchstaben einsetzt:

$$E = {}^1/_2 \cdot 4 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-7} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{10} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{10}$$

$E = 51$ Einheiten des C. G. S.-Systems.

Dieser Wert ist nicht absolut, sondern er ist gefunden auf Grund der vorliegenden experimentellen Bedingungen. Die berechnete Gesamtstromstärke entspricht einigen 10 Milliontel Watt.

Die Wirkung des Stoffes von 1 mg Radium würde eine Milliarde Jahre vorhalten. Indem wir dieses Resultat hier verzeichnen, wollen wir nur eine Idee von der enormen Energie des Stoffes geben, welche übrigens durch die Abgabe der Wärmemenge noch viel schärfer bestimmt werden kann.

Absorbierung der Strahlen. Das Studium dieser Eigenschaft hat zu zahlreichen Versuchen Veranlassung gegeben[1]).

[1]) Frau Curie, Comptes rendus. April 1998. **130.** 1900. S. 76. — Becquerel, Rapport an Congrès de Physique. 1900. C. r. **130.** S. 206. — Rutherford, Phil. Mag. Jan. 1899. — Owen, Phil. Mag. Oktbr. 1899. — Meyer u. von Schweidler, Ber. d. Wiener Akademie. März. 1902. — Curie, Comptes rendus. **130.** 1900. S. 73.

Wie schon oben erwähnt, machen die β-Strahlen den größten Teil des Strahlenbündels aus, während die α-Strahlen bereits in dem umgebenden Luftraum von 7 ccm vollständig absorbiert sind.

Um diese Vorgänge genauer zu erforschen, unterzog Frau Curie eine Probe Radium, welches in einem Glasröhrchen eingeschmolzen war, verschiedenen Versuchen am Kondensator. Indem sie bei den Intensitätsmessungen i des Grenzstroms den Abstand d änderte, fand sie, daß die Stromstärken im umgekehrten Verhältnis zum Quadrat der Entfernung stehen. Die Resultate dieser Versuche finden sich in der folgenden Tabelle verzeichnet, deren erste Kolumne die Werte von d in Centimetern angibt, die zweite den Wert i des Grenzstroms, die dritte den Intensitätswert gemäß dem Quadrat der Entfernung:

d in cm	i	$(i \cdot d^2)10^{-3}$
10	127	13
20	38	15
30	17,4	16
40	10,5	17
50	6,9	17
60	4,7	17
100	1,65	17

Man ersieht hieraus, daß bei einem Abstande von 40 cm $i \cdot d^2 = \text{const.}$

Die radioaktiven Körper entsenden ihre Strahlen stets in gerader Linie sowohl im lufterfüllten, wie im luftleeren Raume. Diese Tatsache wird durch die Deutlichkeit und Form der Schatten bewiesen, welche die der Strahlung ausgesetzten undurchsichtigen Körper auf einen Fluorescenzschirm werfen, selbst wenn Strahlenquellen von schwacher Aktivität benutzt werden.

Frau Curie hat ferner auf dem Wege der elektrischen Methode die durch ein Aluminiumblatt von 0,01 mm Dicke absorbierte Menge der Strahlung gemessen. Dabei war ersteres über die strahlende Substanz gedeckt und fast in Berührung mit dieser. Der von dem Blatte durchgelassene Bruchteil der Strahlung wurde nach Maßgabe der Aktivität folgendermaßen festgestellt: für Thorium 0,38, für Radium 0,32 bis 0,29, für

metallisches Wismut-Polonium 0,22, und für Uranverbindungen nur 0,20.

Das Polonium entsendet nur sehr leicht absorbierbare Strahlen, welche sich nicht weiter als 4—6 cm in der Luft verbreiten und nur sehr dünne Schirme zu durchdringen vermögen, während Radiumstrahlen feste Körper von ansehnlicher Dicke durchdringen, z. B. Blei- und Glasplatten von mehreren Centimetern Dicke[1]).

Diejenigen Strahlen, welche durch feste Körper von größerer Dicke gehen, sind stark durchdringungsfähig und werden nicht vollkommen aufgesogen. Indes hat Frau Curie gezeigt, wie die Poloniumstrahlen und die α-Strahlen des Radiums je nach der Dicke der Körper, durch welche sie hindurchgehen, mehr oder minder absorbierbar sind[2]). Man darf sie gewissermaßen als Geschosse ansehen, welche mit einer gewissen Anfangsgeschwindigkeit abgeschossen waren und welche ihre lebendige Kraft beim Durchdringen der Körper einbüßten.

Wenn man den Wert d, Abstand der radioaktiven Substanz vom Kondensator, allmählich verändert und die durch ein Aluminiumblatt von 0,01 mm Dicke hindurchgehenden Strahlen mißt, so erhält man folgende Zahlen:

d in Millimetern	60	51	34
Prozente der durchgehenden Strahlen	3	7	24

Man ersieht hieraus, daß diejenigen Strahlen, welche am weitesten in die Luft dringen, am stärksten von Aluminium absorbiert werden.

Übrigens beweisen die Versuche von Meyer und von Schweidler[3]), wie bereits oben gesagt, daß sich die Durchdringungskraft des Radiums mit der Dicke der zu durchdringenden Masse vermehrt, wie solches bei den Röntgenstrahlen stattfindet. Bei diesen Untersuchungen kamen die α-Strahlen kaum zur Wirkung, sie wurden durch die Schirme absorbiert und es verblieben die β-Strahlen, mehr oder minder zerstreut, und die γ-Strahlen, welche Röntgenstrahlen ähnlich sind. Um einen zahlenmäßigen Beweis zu führen, brachte man eine mit

[1]) Herr u. Frau Curie, Rapport au congrès de 1900.
[2]) Frau Curie. Comptes rendus, 8. Jan. 1900.
[3]) Meyer u. von Schweidler, Physik. Zeitschr. 1. S. 209.

Radium gefüllte Glasröhre in eine Entfernung von 10 cm vom Kondensator und dazwischen eine Reihe von Bleischirmen, deren jeder 0,115 mm dick war. Das Verhältnis der hindurchgelassenen zur auffallenden Strahlung für jeden der aufeinander folgenden Schirme ist durch die folgende Zahlenreihe ausgedrückt:

0,40 0,60 0,72 0,79 0,89 0,92 0,94 0,94 0,97.

Aus diesen Versuchen geht hervor, daß bei dem neunten Schirm beinahe die Gesamtstrahlung hindurchgelassen ist. Es findet also fast keine Absorption mehr statt.

Wie auf S. 31 ausgeführt, läßt sich das Verhältnis von Ladung zur Masse eines vom Radium fortgeschleuderten, negativ geladenen Partikels durch folgende Gleichung ausdrücken:

$$\frac{m \cdot v}{e} = H\varrho.$$

In dieser Gleichung bedeuten, wie dort gesagt, m die Masse, v die Geschwindigkeit, e die Ladung, H die Feldstärke, ϱ den Krümmungshalbmesser der Kurve. Im Falle H konstant ist, wird ϱ um so kleiner, je stärker die Ladung, und umgekehrt um so größer, je schwächer sie ist. Wenn man also für ein und denselben Strahl bei bekannter sich gleichbleibender Feldstärke und bekannter Ladung den Krümmungshalbmesser gemessen hat, dann kann man aus mehreren Versuchen die Geschwindigkeit v des fortgeschleuderten Partikels berechnen.

Die Kathodenstrahlen, welche einen Teil der β-Strahlen ausmachen, werden wenig abgelenkt, weil ihre Geschwindigkeit v sehr groß ist, auch sind sie infolge ihrer großen Geschwindigkeit und geringen Masse sehr durchdringend. Dagegen sind die α-Strahlen nach Rutherfords Untersuchungen infolge ihrer geringeren Geschwindigkeit und ihrer großen Masse bei gleicher Ladung weniger ablenkbar und weniger durchdringend. Die γ-Strahlen schließlich sind sehr durchdringend, nicht ablenkbar, von anderer Natur als die beiden vorhergehenden und mehr den Röntgenstrahlen gleichgeartet.

Bevorzugte Absorbierung. Aus Vorstehendem läßt sich deutlich erkennen, daß die Strahlungen radioaktiver Körper sehr verwickelter Natur sind, und die Schwierigkeit, ihr Wesen genauer zu erkennen, wird noch dadurch vermehrt, daß die Strahlen eine gewisse Neigung für diesen oder jenen Stoff

zeigen, von welchem sie mehr oder weniger gut absorbiert werden oder eine größere oder geringer Umwandlung erleiden.

Durch die Arbeiten von des Coudres[1]), von Sagnac und von Curie[2]) sind folgende Eigenschaften bekannt geworden:

1. Daß Kathodenstrahlen, die durch ein Aluminiumfenster aus einer Röntgenröhre heraustreten, (Lenardscher Versuch) stark zerstreut werden, indem sie einen Aluminiumschirm von 0,01 mm Dicke passieren und gleichzeitig bei einer Geschwindigkeit $v = 1{,}4 \cdot 10^{10}$ einen Verlust von $10\,\%$ erleiden.

2. Daß Kathodenstrahlen beim Auftreffen auf ein Hindernis Röntgenstrahlen erzeugen.

3. Daß endlich Röntgenstrahlen beim Auftreffen auf ein Hindernis Sekundärstrahlen erzeugen, die zum Teil aus Kathodenstrahlen bestehen.

Mit Polonium hat Herr Curie ähnliche Versuche angestellt, indem er Schirme von verschiedenen Metallen benutzte, und dabei gefunden, daß die Reihenfolge der Metalle einen großen Einfluß auf die Stromstärke der hindurchgeschickten Strahlen hat.

Erster Versuch.

	Dicke	Beobachteter Strom
Aluminium . .	0,01 mm	17,9
Messing . . .	0,005 „	

Zweiter Versuch.

Messing . . .	0,005 mm	6,7.
Aluminium . .	0,01 „	

Man ersieht hieraus, daß bei der Reihenfolge der Schirme, wenn Aluminium oben und Messing unten liegt, die Stromstärke beinahe 3 mal stärker ist, als in umgekehrter Reihenfolge, gleiche Dicken vorausgesetzt. Somit scheinen die Strahlungen beim Passieren von dichten Schirmen noch nicht bekannten Wandlungen zu unterliegen. Im übrigen ist diese Tatsache für die meisten Metalle festgestellt worden. Auf Radium hat die Vertauschung der Schirme keinen wesentlichen Einfluß.

---

[1]) Des Coudres, Physik. Zeitschr. November 1902.

[2]) Sagnac, Thèse de Doctorat. Curie u. Sagnac, Comptes rendus. April 1900.

Sekundärstrahlen. Weiter oben war bereits angedeutet worden, daß Sekundärstrahlen auftreten, sobald Röntgenstrahlen auf ein Hindernis treffen. Becquerel[1]) hat diese Erscheinung der Erzeugung von Sekundärstrahlen durch radioaktive Körper durch folgenden Versuch bestätigt. Er legte nämlich einen Bleiblock, welcher an seiner Oberfläche eine mit stark aktiver Substanz gefüllte Höhlung hatte, auf eine photographische Platte, und erhielt nicht nur auf dieser darunterliegenden, sondern auch auf den an die Seiten gelegten photographischen Platten sehr starke Einwirkungen, und zwar zeigten sich letztere bis auf 20 mm Dicke des Bleiblockes.

Bemerkenswert ist, daß die Strahlungen ihre größte Intensität vornehmlich mit Blei erreichen, welche Erscheinung im übrigen auch mit der durch Licht erzeugten Phosphorescenz und Fluorescenz übereinstimmt. Die Durchgangsfähigkeit der Sekundärstrahlen ist schwächer als die der Primärstrahlen, aber in allen übrigen Punkten sind sie den durch Röntgenstrahlen erzeugten Sekundärstrahlen vollkommen gleich.

Das Spinthariskop von Sir W. Crookes.[2])

Dieser von Sir W. Crookes erfundene und von ihm nach dem griechischen Worte Σπινθηρ (scintilla, der Funke) benannte Apparat ist vornehmlich geeignet, die ballistische Hypothese zu beweisen.

Der kleine Apparat besteht aus einer scharfen Lupe, welche als Okular auf einem verschiebbaren Tubus sitzt, dessen anderes Ende von einem mit phosphorescierendem Zinksulfid bestrichenen Schirm verschlossen ist. Etwa 0,5 mm von letzterem entfernt ist auf einer Metallspitze ein Körnchen Radium befestigt und dem Schirm zugewendet. Beobachtet man nun im Finstern durch die Lupe den Schirm, so bemerkt man alsbald einen wahren Regen von Lichtpunkten, welche aufblitzen, verschwinden und wiederum erscheinen. Der wundervolle Anblick

[1]) Becquerel, Comptes rendus. 18. Febr. 1901, 27. April 1903.

[2]) Sir W. Crookes, Modern Views on matter. An address delivered before the Congress of applied chemistry at Berlin 5. Juni 1903. Anmerkung des Übersetzers. Gelegentlich des auf dem Kongress für angewandte Chemie im Sommer 1903 in Berlin gehaltenen Vortrags besprach Sir W. Crookes persönlich das von ihm erfundene Spinthariskop.

erinnert an einen nachtschwarzen Himmel mit einem wogenden Meer von blitzenden Sternen. In unmittelbarer Nähe des Radiums zeigt sich das Aufleuchten am stärksten und unaufhörlich.

Durch einen Luftstrom scheint das Phänomen nicht beeinflußt zu werden; es tritt auch im Vakuum auf, ein Schirm zwischen Radium und Leuchtschirm unterdrückt es; die Erscheinung scheint also von den α-Strahlen des Radiums herzurühren, und man kann sich vorstellen, daß die Lichtpunkte in Wirklichkeit von dem Aufschlagen der einzelnen Projektile erzeugt werden, mit denen die fortgeschleuderten Partikeln der radioaktiven Substanz den Schirm bombardieren.

Becquerel[1]) hat das Spinthariskop längere Zeit studiert und Mitteilungen darüber an die Pariser Akademie der Wissenschaften gelangen lassen.

---

[1]) Becquerel, Comptes rendus. 27. Oktober 1903.

Viertes Kapitel.

Physikalische und chemische Wirkungen der Becquerelstrahlen.

Mit den bisherigen Untersuchungen der Becquerelstrahlen ist die Zahl ihrer vielseitigen Eigenschaften keineswegs erschöpft. Einer genaueren Betrachtung bedürfen zunächst noch ihre physikalischen und chemischen Wirkungen.

1. Lichtwirkungen. Bei den von diesen Strahlen hervorgebrachten Lichtwirkungen handelt es sich um Fluorescenz und Luminescenz.

a) Fluorescenz. Die ersten Forscher, welche mittelst eines Baryumplatincyanürschirms die fluorescierenden Wirkungen der von Polonium und von Radium ausgesendeten Strahlen nachgewiesen haben, waren Herr und Frau Curie. Selbst bei Zwischenschiebung eines dünnen Aluminiumblattes wurde diese Erscheinung nicht vermindert und zeigte sich am schönsten und intensivsten mit stark radioaktiven Substanzen.

Man hat es hierbei mit gleichen Erscheinungen zu tun, wie bei Röntgenstrahlen, denn alle durch letztere in Fluorescenz versetzten Körper fluorescieren auch durch Becquerelstrahlen. Bary[1]) wies zuerst nach, daß die Salze von Alkalien und alkalischen Erden, wie Lithium, Kalium, Natrium, Rubidium, Cäsium, Magnesium, Calcium, Strontium, Baryum in Fluorescenz zu versetzen sind. Becquerel zeigte ferner die Fluorescenz der Uransalze und des Diamants, der sich bei dieser Gelegenheit prüfen, und von Strass- und anderen Imitationen unterscheiden läßt, desgleichen von Zinkblende, Papier, Glas, Baumwolle usw.

Mit Baryumplatincyanür, Uransulfid und Zinksulfid, besonders wenn letztere durch Sonnenbeleuchtung phosphores-

[1]) Bary, Comptes rendus. **130.** 1900. S 776.

cierend gemacht worden war, lassen sich die schönsten Fluorescenzerscheinungen hervorrufen. Die Lichterscheinung ist am stärksten, wenn man die genannten Substanzen mit einem radioaktiven Salz vermengt. Eine hervorragend schöne Fluorescenz besitzt ferner thüringisches Glas. Mit einem Baryumplatincyanürschirm lassen sich die Wirkungen der Radiumstrahlen von stark aktivem Salz bis auf 2 m verfolgen. Der Lichtschimmer eines Zinksulfidschirmes erhält sich noch einige Zeit nach Entfernung des Radiums. Herr Curie hat sogar das Aufleuchten eines Baryumplatincyanürschirms durch den menschlichen Körper hindurch beobachtet. Ungleich viel stärker wird allemal die Fluorescenz, wenn der Schirm in unmittelbarer Berührung mit dem Radium ist; für Polonium ist dies eine unerläßliche Bedingung; wenn man aber einen Schirm dazwischen bringen will, dann müßte er außerordentlich dünn sein, sonst mißlingt das Experiment.

b) Luminescenz. Alle radiumhaltigen Baryumverbindungen werden selbstleuchtend[1]). Besonders leuchtkräftig sind die trockenen und wasserfreien Haloidsalze. Am besten sieht man selbstverständlich die Luminescenz in der Finsternis, aber selbst im Halbdunkel und bei Gaslicht ist sie erkennbar; sie reicht hin, um Gedrucktes lesen zu können. Bei feuchtem Wetter verlieren die Radiumpräparate ihre Leuchtkraft, gewinnen sie jedoch nach Trocknung wieder, wie Giesel gezeigt hat.

Nach Bary[2]) entspringt die Luminescenz aus der Einwirkung der Becquerelstrahlen und diese Annahme scheint auch vollkommen gerechtfertigt, denn reines Radiumbromid ist an sich nicht luminös. Die Luminescenz der radiumhaltigen Baryumsalze erhält sich einige Zeit, verändert sich aber besonders bei den Salzen von starker Aktivität; nach einigen Monaten wird der Schein violett und vermindert sich. Das Salz selbst ist von Hause aus weiß, dann wird es gelb und später blau; wenn man es auflöst und wieder trocknen läßt, gewinnt es seine ursprüngliche Farbe und Luminescenz wieder. Eine Lösung sehr stark radioaktiven Salzes ist luminös.

---

[1]) Curie, Société de Physique. 3. März 1899. — Giesel, Wied. Ann. **69**. S. 91.

[2]) Bary, Comptes rendus. **130**. 1900. S. 777.

Die Radiumsalze liefern das erste Beispiel von selbstständiger Leuchtkraft, und zwar geht diese aus ihrer Masse hervor und ist nicht wie bei phosphoreszierenden Körpern nur oberflächlich.

2. Radiographische Wirkungen. Alle drei Arten der Radiumstrahlen üben starken Einfluß auf photographische Platten aus. Um Radiographien zu erhalten, braucht man nur die abzubildenden Gegenstände in einem vollkommen finsteren Raum einzuschließen, indem man sie dort zwischen eine photographische Platte und stark aktives Radiumbromid legt. Das

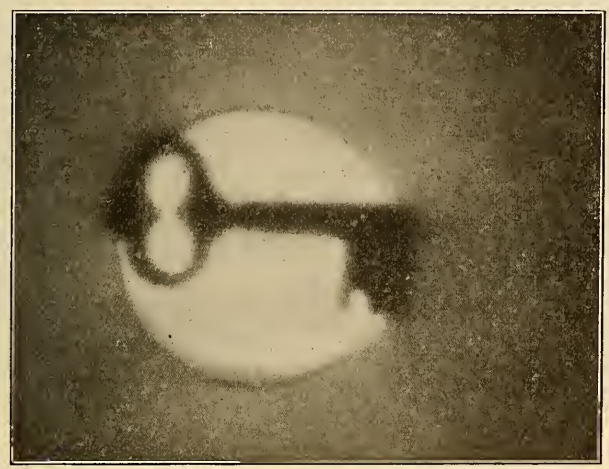


Fig. 11. Radiographie vermittelst Radiumstrahlen.[1])

letztere wird durch einen undurchdringlichen Metallschirm abgeblendet, an welchem nur eine für die abzubildenden Gegenstände entsprechend weite Öffnung freibleibt. Durch diese hindurch wirken die Radiumstrahlen auf die Platte und bringen nach gehöriger Expositionszeit ein klares Bild hervor (vgl. Fig. 11).

Das anzuwendende Verfahren ist verschieden, je nachdem man mit Radium oder mit Polonium operieren will. Während Polonium nur auf sehr kleine Entfernungen wirkt und seine Wirkung durch Schirme sehr geschwächt wird, wirkt Radium, auch wenn es in Glasröhren eingeschlossen ist, auf viel größere Entfernungen, selbst bis auf 2 m, durch die Luft hindurch.

[1]) Aufgen. von Dr. B. Donath, Abt.-Vorsteher der Berliner Urania.

Es sind hier die γ- und ein Teil der β-Strahlen, welche die Wirkungen hervorbringen.

Man kann Radiographien von festen Gegenständen aller Art aufnehmen; alle Metalle, Aluminium ausgenommen, sind undurchsichtig und für Radiumstrahlen nicht durchdringbar. Ebenso scheinen Knochen und Fleisch dieselbe Undurchdring-

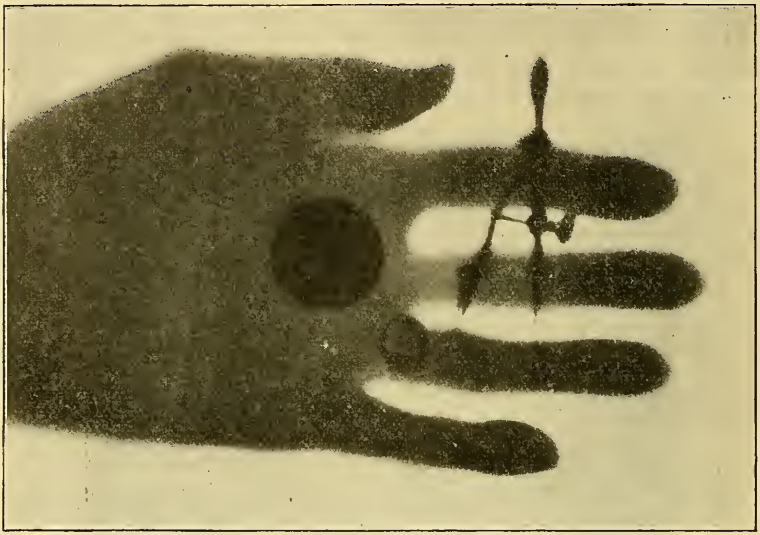


Fig. 12a. Vergleichsaufnahme mit Radiumstrahlen.

barkeit zu besitzen, denn es ist nicht möglich, wie bei Röntgenstrahlen, das Skelett zu unterscheiden (vgl. Fig. 12a u. b).

Auf weitere Entfernungen kann man sogar mit kleinen Strahlenquellen arbeiten und erhält dennoch scharfe Radiographien. Vorteilhaft ist es für die Klarheit und Schärfe der Bilder, wenn man die β-Strahlen durch ein Magnetfeld zur Seite wirft und nur die γ-Strahlen benutzt. Das Charakteristische an allen mit Radiumstrahlen aufgenommenen Bildern ist nämlich eine gewisse Verschwommenheit, welche daher rührt, daß die β-Strahlen beim Durchdringen der abzubildenden Gegenstände diffundieren und einen Schleier hinterlassen. Wenn man sie unterdrückt, muß man länger exponieren, erhält dann aber dafür bessere Resultate. Bei Entfernungen von 0,20 m muß man 1 Stunde, bei 1 m einen ganzen Tag exponieren.

Boulay hat in sehr kurzer Expositionszeit recht hübsche Radiographien erlangt, indem er Glasröhren mit Radiumsalz verwendete, dem er phosphorescierendes Zinksulfid beigemischt hatte. Allerdings wird ein Teil der nutzbaren Strahlen durch letzteres absorbiert und man ist genötigt, größere Mengen Radiumsalz anzuwenden.

Fig. 12b. Vergleichsaufnahme mit Röntgenstrahlen[1]).

3. Entwicklung von Wärme durch Radiumsalze Gelegentlich ihrer neueren Untersuchungen haben die Herren Curie und Laborde[2]) festgestellt, daß Radiumsalze eine Quelle fortwährender selbsttätiger Wärmeentwicklung bilden, welche eine Temperaturerhöhung der umgebenden Luft um 1,5° zur Folge hat. Und diese Tatsache hat Herr Curie am

---

[1]) Anmerk. des Übersetzers. Um den Unterschied zwischen der Durchdringungskraft von Röntgenstrahlen im Gegensatze zu Radiumstrahlen zu veranschaulichen, bringe ich vorstehende Vergleichsaufnahmen, welche ich der Güte des Herrn Dr. B. Donath, Abt.-Vorsteher der Urania Berlina, verdanke und wofür ich ihm hiermit meinen verbindlichsten Dank ausspreche.

[2]) Curie u. Laborde, Comptes rendus. 16. März 1903.

18. Juni 1903 dem Königl. Institut zu London, und am 3. Juli desselben Jahres der französischen Physikalischen Gesellschaft in seinen großartigen, überraschenden Experimenten vorgeführt, indem er sich dabei gewöhnlicher Quecksilberthermometer bediente.

Der von ihm bei diesen Vorführungen benutzte Apparat war folgender. In zwei ganz gleichen d'Arsonvalschen Wärmeisolatoren wurden in den einen eine Glasröhre mit 0,7 g reinem Radiumbromid, unmittelbar die Kugel eines Quecksilberthermometers berührend, gelagert, in den anderen eine gleichgroße Glasröhre in der nämlichen Stellung, aber nur mit beliebigem nicht radioaktivem Baryumsalz angefüllt. Die Öffnungen der Isolatoren waren mit Wattebauschen verschlossen. Nach Herstellung des Temperaturgleichgewichts in beiden Isolatoren bemerkte man sehr bald an dem von Radium beeinflußten Thermometer eine Temperaturerhöhung von 3° gegenüber dem anderen, und diese Erhöhung blieb konstant. Die beiden genannten Forscher haben außerdem noch die entwickelte Wärmemenge vermittelst eines Bunsenschen Kalorimeters gemessen und gefunden, daß die Zufuhr an Wärme 100 kl. Kal. für 1 g Radiumbromid in 1 Stunde beträgt.

Gemäß des Atomgewichts des Radiums zu 225 entwickelt demnach 1 Atomgramm (225 g) Radium in 1 Stunde 22500 Kal., welche Wärmemenge gleich sein würde der bei Verbrennung von 1 Atomgramm (1 g) Wasserstoff entwickelten.

Um diese sehr bedeutende Wärmeentwicklung, welche ohne gleichzeitige chemische Reaktion vor sich geht, zu erklären, muß man Zuflucht nehmen zu der Annahme, daß hierbei eine Umwandlung des Radiums in einen anderen Körper vor sich geht, vielleicht in Helium, wie Sir W. Huggins vermutet. Wir kommen auf diese Hypothese nochmals im letzten Kapitel dieses Buches zurück. Wenn überhaupt eine Umwandlung vor sich geht, so muß sie sehr langsam geschehen und alle bisher bekannten Wärmeentwicklungen bedeutend übertreffen.

Bei frisch hergestelltem Radium oder frisch in eine Glasröhre eingeschmolzener Radiumlösung zeigt sich stets eine schwache Wärmeentwicklung, welche sich nach und nach vermehrt und nach Ablauf eines Monats ihren Höhepunkt erreicht. Diese Temperatursteigerung bleibt in der Folge konstant für Salz wie für Lösung.

Prof. Dewar hat in Gemeinschaft mit Herrn Curie vor der Société Royale und dem Institut Royal de Londres einen sehr interessanten Versuch vorgeführt; es wurde die entstehende Wärme benutzt, um verflüssigtes Gas ins Sieden zu bringen und darauf die dadurch erzeugte Gasmenge gemessen. Man benutzte flüssige Luft und flüssigen Wasserstoff. Mit letzterem Gas ist der Versuch am interessantesten wegen der großen Menge des entwickelten Gases. Der von den Vortragenden benutzte Apparat war folgender.

Das flüssige Gas *H* befindet sich in dem Glasrohr *A*, welches von einem Dewarschen Vakuumgefäß umgeben und selbst in ein Bad *H'* von flüssigem Gas getaucht ist. Das Glasrohr *A* ist mit einem Korken verstopft, durch welchen ein Röhrchen *t t* das entwickelte Gas nach einem durch Wasser abgesperrten graduierten Meßrohr *E* führt. Bei dieser vollkommenen Isolation kann in dem Rohre *A* keine nennenswerte Gasentwicklung stattfinden. Wenn nun aber in das Rohr *A* ein kleines Reagensgläschen mit 7 dg Radiumbromid, welches vor 10 Tagen hergestellt war, eingeführt wird, dann geht sofort eine regelmäßige Gasentwicklung vor sich, welche während 1 Minute 73 ccm Gas liefert.

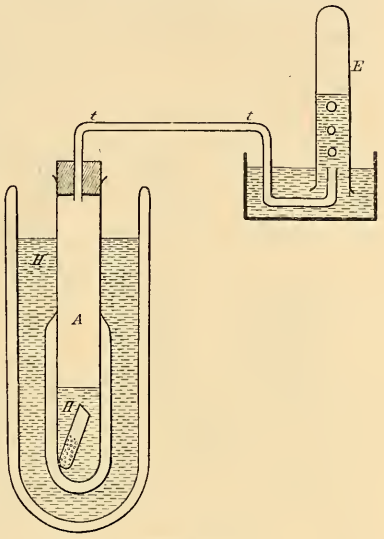


Fig. 13.

4. Elektrische Wirkungen. Im ersten Kapitel ist schon die Rede gewesen von den ionisierenden Wirkungen der radioaktiven Substanzen auf atmosphärische Luft und das dritte Kapitel enthielt die Erörterungen über Messungen der durch solche hervorgebrachten elektrischen Ladungen; zum vollkommenen Verständnis dieses Gebiets gehört aber noch das Studium der ionisierenden Wirkungen von Radiumstrahlen auf dielektrische Flüssigkeiten.

a) Wirkungen der Radiumstrahlen auf dielektrische Flüssigkeiten. Bei seinen vielseitigen Versuchen hat Herr Curie[1]) diese Wirkungen mit Hilfe folgenden Apparats erkannt.

Eine dielektrische Flüssigkeit ist in einem Metallbehälter *C D E F* enthalten, in welchen ein kupfernes Rohr *A B* taucht, so daß Behälter und Rohr zwei Elektroden bilden.

Der Behälter wird durch eine Akkumulatorenbatterie, deren einer Pol mit der Erde in Verbindung steht, auf einem bestimmten Potential erhalten. Das Rohr *A B* ist mit einem Elektrometer verbunden. Wenn nun ein elektrischer Strom die Flüssigkeit durchfließt, so erhält man das Elektrometer mit Hilfe eines piezoelektrischen Quarzes auf Null und mißt auf diese Weise den Strom. Man verfährt hierbei genau ebenso wie bei den Messungen im ersten Kapitel S. 6 ff. Um zu verhindern, daß der Strom durch die Luft geht, umgibt man das Rohr *A* mit einem zweiten Metallrohr *M M' N N'*, welches zur Erde abgeleitet ist. Auf den Boden des Rohres *A B* legt man ein Glasröhrchen, welches Radium enthält, so daß die Radiumstrahlen durch das Glas und durch das kupferne Rohr auf die Flüssigkeit wirken.

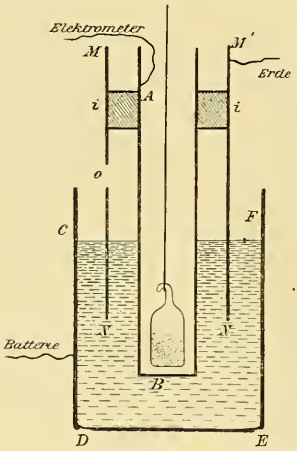


Fig. 14.

Man kann aber auch das Radium unter den Boden *D E* des großen Behälters bringen und von dort aus auf die Flüssigkeit wirken lassen. In letzterer Weise würde man verfahren, wenn man den beschriebenen Apparat für Röntgenstrahlen benutzen wollte.

Für Radium- und für Röntgenstrahlen hat Herr Curie Effekte von gleicher Größenordnung erhalten.

Wenn man unter gleichen Umständen die Leitfähigkeit eines dielektrischen Gases untersucht, so findet man, daß die Stromstärke nur so lange der Potentialdifferenz der Elektroden proportional ist, als diese einige Volt nicht überschreitet. Bei

[1]) Curie, Comptes rendus. 17. Febr. 1902.

höheren Spannungen wächst indes der Strom immer weniger schnell und der Grenzstrom wird bei einer Spannung von 100 Volt erreicht (vergl. Fig. 7). Für dielektrische Flüssigkeiten bleibt die Stromstärke der Spannung proportional bis 450 Volt, selbst wenn der Abstand der Elektroden nicht größer ist als 6 mm.

Weitere Versuche sind unter gleichen Umständen, bei konstanter Temperatur und vollkommenster Isolierung der Apparate mit flüssiger Luft, Petroleumäther, Vaselin und Amylen gemacht worden, wobei sich gezeigt hat, daß Vaselin unter dem Einfluß der Strahlen sehr viel weniger gut leitet als Petroleumäther. Die Temperatur spielt übrigens dabei eine gewisse Rolle und beeinflußt die Leitungsfähigkeit.

b) Leistungen und Anwendungen der ionisierenden Wirkung. Durch die Einwirkung von Becquerelstrahlen läßt sich die Kondensierung von übersättigtem Wasserdampf in derselben Weise bewirken, wie solche durch Kathoden- und Röntgenstrahlen veranlaßt wird. Die Luft in der Nähe von Radium wird leitend, und eine elektrische Entladung wählt deshalb von zwei ihr offenstehenden Wegen den des geringsten Widerstandes und wird an derjenigen Unterbrechungstelle mit Funken überspringen, wo das Radium eingeschaltet ist. Paulsen[1]) hat während einer arktischen Expedition das Radium zur Untersuchung der atmosphärischen Elektrizität benutzt. Bei dieser Verwendung war das Radium in einer kleinen Hülse von Aluminium eingeschlossen, an deren Ende sich ein Stäbchen befindet, und dieses kann mit einem Elektrometer in Verbindung gebracht werden. Die Luft in der Umgebung der Hülse wird leitend und der Stab nimmt das Potential der umgebenden Luft an. Bisher verwendete man für diesen Zweck Flammen oder Wasserstrahlen. Zur Expedition des Dr. Charcot wurden zwei solcher Hülsen mit Radium, jedes mit einer Aktivität von 30 000, mitgenommen.

Elektroskop zur Untersuchung von radioaktiven Körpern. Zum Studium der Leitungsfähigkeit der Luft unter Einfluß von Radium hat Herr Curie ein Elektroskop nach Analogie de rsogenannten Goldblättchenelektroskope konstruiert.

---

[1]) Paulsen, Bericht an den Physikal. Kongreß von 1900.

Das bewegliche Goldblättchen L' (Fig. 15) ist bei D an einem festen Kupferstreifen L befestigt, und dieser ist an einem isolierenden Stäbchen i aufgehängt. Man untersucht die Leitungsfähigkeit der Luft zwischen den beiden Platten P und P'. Diese Platten sind an Metalllstäbe t und t' befestigt und durch diese einesteils mit dem Elektroskop L und L' und andernteils mit dem Metallkasten $A\ A\ A\ A$ verbunden, welcher das ganze Instrument umschließt.

Um eine Messung auszuführen, ladet man zunächst das Elektroskop, indem man die Platte P' mit einem elektrisch

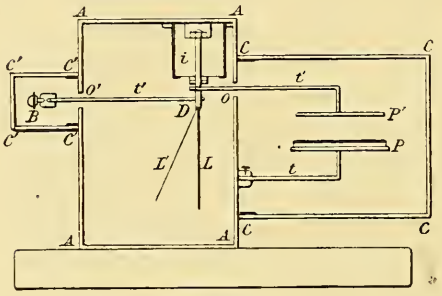


Fig. 15.

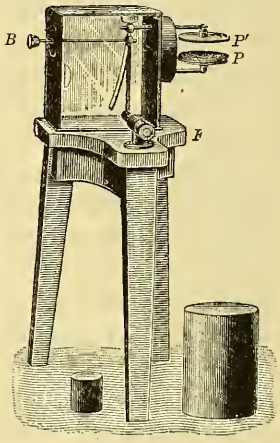


Fig. 16.

gemachten Ebonitstabe bestreicht; dann wird das Goldblättchen L' aus seiner senkrechten Lage gebracht, indem es von dem feststehenden Kupferstreifen abweicht. Im Falle der Apparat gut isoliert ist und kein radioaktiver Körper einwirkt, bleibt die Abweichung längere Zeit bestehen. Die zu messende Substanz bringt man in gepulvertem Zustand auf die Platte P und breitet sie dort gleichmäßig in einer dünnen Schicht aus. Die Luft zwischen den beiden Platten, leitend gemacht, entladet das Elektroskop schnell, und zwar gibt die Schnelligkeit, mit welcher das Goldblättchen angezogen wird, den Maßstab ab für die Intensität der von der radioaktiven Substanz ausgegangenen Strahlung.

Indem man die untere Spitze des Goldblättchens mit Hilfe eines feststehenden Fernrohrs F (vgl. Fig. 16), dessen

Okular mit Mikrometer und Gradeinteilung versehen ist, beobachtet, bestimmt man die Schnelligkeit des Abfalls nach der Zeit. Um letztere genau zu messen, bedient man sich eines Chronometers in der Weise, daß man die Zeit nach Zehntelsekunden bestimmt, welche die Spitze des Goldblättchens zur Zurücklegung eines Weges auf einer Gradeinteilung nach Millimetern verbraucht.

Um das Innere des Instruments beobachten zu können, sind Glaswände angebracht. Zum Schutze der Platten P und P' gegen äußere Einflüsse dient ein abnehmbarer Metallkasten $CCCC$, welcher sich an die Wand $A\,A$ des Instruments anhängen läßt.

Beim Gebrauch breitet man die radioaktive Substanz auf einer Ersatzplatte von gleichem Durchmesser (8 cm), wie die wirkliche Platte P, aus und schiebt sie über letztere hinweg. Ziemlich schwierig ist es, die Verbreitung von radioaktivem Staub zu verhindern, und deshalb ist es dringend notwendig, alle Vorbereitungen fern vom Elektroskop zu machen, auch die Substanzen erst näher zu bringen, nachdem man sie in regelmäßiger dünner Schicht auf der Ersatzplatte ausgebreitet hat. Handelt es sich um sehr stark aktive Substanzen, so erheischt die Vorsicht, diese nur nach und nach auf die Platten zu bringen. Das Ende B des Metallstabes t' ist dafür eingerichtet, um es mit irgend welchem anderen elektrischen Apparat z. B. einem Kondensator in Verbindung zu bringen, welcher die Empfindlichkeit des Instruments herabzumindern vermag. Diese Vorsichtsmaßregel empfiehlt sich bei Messungen von sehr stark radioaktiven Substanzen.

Wirkungen des Radiums auf die elektrische Leitungsfähigkeit des Selens.

F. Himstedt und Eug. Bloch haben zuerst die Einwirkung von Radiumstrahlen auf die elektrische Leitungsfähigkeit des Selens gezeigt. Die Verminderung des beobachteten Widerstandes ist von derselben Größenordnung, wie sie der elektrische Lichtbogen und Röntgenstrahlen äußern, aber die Wirkung geht bei Radium langsamer vor sich. Dieselben Resultate sind von Edmond van Aubel erzielt worden.

5. Chemische Wirkungen. Radiumstrahlen bringen in manchen Körpern chemische Veränderungen hervor. Die von

Radium, welches in einer Glasröhre eingeschmolzen ist, ausgehenden Strahlen üben keinen umwandelnden Einfluß auf den Sauerstoff der Luft[1]) aus, dagegen bemerkt man einen starken Ozongeruch, sobald man eine Glasröhre, in der Radium längere Zeit eingeschlossen war, öffnet. Vorhandensein von Ozon läßt sich mit Hilfe von Jodkaliumstärkepapier leicht nachweisen. Offenbar steht die Erzeugung von Ozon mit der induzierten Radioaktivität in Zusammenhang, welche im Kapitel VI eingehend besprochen werden soll.

Villard[2]) hat bei seinen Versuchen die Umwandlung des Baryumplatincyanürs in einen braunen weniger fluorescierenden Körper beobachtet. Desgleichen hat Giesel[3]) ein radiumhaltiges Baryumplatincyanür hergestellt, welches das gewöhnliche Aussehen des Salzes hatte und sehr stark luminescierte; nach einiger Zeit wurde es braun und die Luminescenz nahm ab, während die Radioaktivität zunahm.

Phosphorescierendes Zinksulfid verliert allmählich seine phosphorescierende Eigenschaft, wenn es mit einem Radiumsalz vermischt wird; dasselbe geschieht aber auch, wenn beide Salze nicht in unmittelbare Berührung kommen, wovon gleichfalls weiter unten bei den Versuchen mit induzierter Radioaktivität die Rede sein soll.

Porzellan und Glas färben sich unter dem Einfluß von radioaktiven Substanzen erst braun oder violett; nach der Meinung von Villard[4]) entsteht die violette Färbung durch Oxydation des im Glase enthaltenen Mangans. Dergleichen Färbungen sind den durch Kathodenstrahlen hervorgerufenen analog. Sie sind nicht etwa oberflächlich, verschwinden auch nicht durch Waschungen mit Säuren, sondern es ist eine durch die ganze Masse gehende Veränderung.

Beim Erhitzen der braun gefärbten Körper verschwindet die Färbung wieder, woraus hervorzugehen scheint, daß hier die im Glase enthaltenen Blei-, Kali- und Natronsalze eine Rolle spielen.

---

[1]) Herr u. Frau Curie, Comptes rendus. 1899. **129**. S. 823.
[2]) Villard, Soc. franç. de Physique. 18. Mai 1898.
[3]) Giesel, Wied. Annal. **79**. S. 91.
[4]) Villard, Comptes rendus. 1899. **129**. S. 882.

Giesel[1]) zeigte, daß die Haloidsalze der Alkalien, z. B. Steinsalz, Sylvin sich unter dem Einfluß von Radiumstrahlen ebenso färben, wie unter demjenigen von Kathodenstrahlen. Gleiche Färbungen lassen sich hervorbringen, wenn die Salze einige Zeit in Natriumdampf verbleiben.

Die Färbungen der Radiumsalze selber verändern sich mit der Zeit. Die Salze, im Moment der Entstehung weiß, werden zunächst gelb, dann violett, zuletzt rosa, und zwar scheint dieser Farbenwechsel von der Wirkung des Radiums auf die in letzterem selber enthaltenen Spuren von Natrium, von welchen es sich absolut nicht befreien läßt, herzurühren.

Radiumchlorid entwickelt einen Geruch wie Eau de Javelle infolge Oxydation des Chlors, Radiumbromid entwickelt Bromgeruch. Giesel ist der Ansicht, daß sich aus den Lösungen von Radium Wasserstoff entwickelt.

Papier wird brüchig und braun gefärbt, weißer Phosphor in roten umgewandelt, Quecksilberchlorid in Gegenwart von Oxalsäure in Kalomel übergeführt.

Sehr interessante Versuche, welche Berthelot mit Radiumstrahlen anstellte, zeigten, daß die erzielten Effekte nicht von Becquerelstrahlen herrührten, sondern von der Lumineszenz der verwendeten Salze, denn die Effekte wurden durch Zwischenstellung eines Schirms von einfachem schwarzen Papier vollkommen unterdrückt. Berthelot hat ferner ein Röhrchen mit stark aktivem Radium in ein zweites Glasrohr hineingeschoben, so daß beide sich innig berührten, und diese neun Tage lang in ein mit Jodwasserstoffsäure gefülltes Meßgläschen gestellt. Der Erfolg war der, daß sich Jod entwickelte. Ein gleiches Glas, im Finstern aufgehoben, zeigte keine Änderung. Schließlich beobachtete er auch, daß Salpetersäure sich durch Radiumstrahlen gelb färbt.

Es unterliegt keinem Zweifel, daß alle diese Wirkungen durch Becquerelstrahlen hervorgebracht werden, denn zunächst wurde das dünne Glasröhrchen, welches das Radiumrohr umgab, einesteils durch die entstandene Bleireduktion braun gefärbt, andernteils violett durch Manganoxydation, wo es mit der Luft in Berührung gekommen war. Diese

[1]) Giesel, Deutsche physikal. Gesellsch. Januar 1900.

letztere Oxydation ist gewissermaßen eine komplementäre Umwandlung zur Bleireduktion. Man hat es hierbei offenbar mit den beiden Arten von Strahlungen, und mit Jonisation der Masse zu tun.

6. Wirkungen der Thermoluminescenz. Bekannt ist, daß Flußspat leuchtet, wenn man ihn erhitzt, er gehört zu den thermoluminescenten Körpern. Dieser Zustand erschöpft sich nach einiger Zeit, aber die Fähigkeit zu leuchten wird sowohl durch den elektrischen Funken wie durch Radiumstrahlen jederzeit wieder hervorgerufen[1]). Während bei Erhitzung des Flußspats eine Umwandlung mit Lichterscheinung vor sich geht, findet solche im umgekehrten Sinne durch Radium statt, gleichfalls von Lichterscheinung begleitet.

Wenn man ein durch Radium gebräuntes Glas erhitzt, verschwindet die Färbung unter Lichterscheinung. Alle diese Erscheinungen, wie Fluorescenz und Luminescenz, sind vermutlich durch nichts Geringeres verursacht, als durch die chemischen und physikalischen Umwandlungen des Stoffes, welcher das Licht hervorbringt.

[1]) Becquerel, Rapport au Congrès de Physique. 1900.

Fünftes Kapitel.

Physiologische und therapeutische Wirkungen der Radiumstrahlungen.[1])

In Anbetracht der Wichtigkeit dieser Fragen und der anscheinend ihnen noch bevorstehenden Zukunft ist diesem Kapitel eine größere Ausdehnung gegeben, und sind auch die physiologischen Wirkungen der Röntgenstrahlen hineingezogen worden, insofern nämlich zwischen diesen und den Becquerelstrahlen eine gewisse Ähnlichkeit besteht.

Einleitung. Radiotherapie.

Seit dem Jahre 1895 sind die Strahlen, welche von Röntgenröhren ausgesendet werden, in der Heilkunde vor allem zu chirurgischen Untersuchungen vermittelst der Radioskopie und Radiographie benutzt worden. Sie bilden die Radiodiagnostik.

Demnächst begann man im Jahre 1896 die physiologischen Wirkungen dieser Strahlen nutzbar zu machen. Dies ist die Radiotherapie, durch welche unter Umständen, sofern sie nämlich regellos angewendet wird, Schaden und schwere Verletzungen herbeigeführt, andererseits aber bei vorsichtigem Gebrauche gewisse Hautkrankheiten durch sie geheilt werden können. Auf solche Heilzwecke leiteten zunächt die Beobachtungen hin, welche man bei den der Radiographie unterzogenen Personen gemacht hatte, nämlich Haarausfall, Verbrennungen der Haut bis zum Brandschorf. Alle diese Hautentzündungen nannte man Radiodermatitis.

Dr. Freund[2]) aus Wien behandelte mit bestem Erfolge

[1]) Anmerkung des Übersetzers. Der Text des medizinischen Kapitels ist durch die Herren Ärzte Dr. Alf. Exner, Wien und Dr. Arth. Sperling, Berlin revidiert worden, wofür ich den gesamten Herren hiermit meinen verbindlichsten Dank ausspreche.

[2]) Freund, Radiologie. Wien 1903. Urban & Schwarzenberg.

ein Muttermal und wurde damit der Schöpfer dieses neuen therapeutischen Verfahrens.

Unter den Röntgenröhren verursachen einige physiologische Wirkungen, andere dagegen nicht. Man schreibt die Wirkungen, welche nur mit gewissen Sorten von Röhren sich erzeugen lassen, teils den Strahlen selber zu, teils den nebenherlaufenden elektrischen Entladungen.

Röntgen teilt die Röhren in harte, halbweiche und in weiche ein; Härte bezeichnet den Widerstand, welchen die Glashülle dem Durchgange des elektrischen Stromes entgegensetzt; dieser Widerstand wird umso stärker, jemehr die Luft in der Röhre verdünnt worden ist.

Im Jahre 1900 bewiesen Strater und Kienboeck[1]), beide in Wien, und Oudin in Paris wissenschaftlich, daß die Strahlen an und für sich eine Wirkung auf die Haut ausüben und daß diese Wirkung von der Menge der Strahlen, welche erstere treffen, abhängig ist.

Kienboeck teilt die Röhren in 5 Sorten ein.

1. Sehr weiche Röhren. Sie leiten zwar gut, liefern aber wenig Röntgenstrahlen.

2. Weiche Röhren. Diese liefern Radiographien, bei denen die Knochen kaum sichtbar sind; die Durchdringungskraft der Strahlen ist gering und sie geben keine gleichzeitigen elektrischen Entladungen.

3. Halbweiche Röhren sind solche, mit denen man die besten Bilder erhält, kontrastreiche Schatten neben scharfbegrenzter Helligkeit, viel Strahlen und wenig Nebenentladungen.

4. Harte Röhren erzeugen schwache Bilder, bei geringer Durchdringungskraft der Strahlen und vielen Nebenentladungen.

5. Sehr harte Röhren. Bei diesen erhält man ausschließlich Nebenentladungen.

Kienboeck zeigte zuerst, daß man mit harten und sehr harten Röhren keine Einwirkung auf die Haut erzeugen könne, und daß im Gegenteil mit halbweichen Röhren ein Maximum zu erreichen sei, und daß diese auch die meisten Röntgenstrahlen erzeugten.

Derselbe Forscher bewieß auch, daß mit einem Metallschirm sich alle Einwirkungen der Röntgenstrahlen unter-

[1]) Kienboeck, Wien. klinische Wochenschrift. 1900. Nr. 50.

drücken lassen, und daß mit 10 mal weniger Strahlen sich Haarausfall erreichen läßt, als Hautnekrose.

In neuester Zeit ist man mit Hilfe des Holzknechtschen Chromoradiometers[1]), welcher die Menge der erzeugten Strahlen angibt, so weit gelangt, um das von Kienboeck formulierte Gesetz beweisen zu können, welches besagt:

„Die Reaktion auf die Haut hängt von der Menge der Strahlen ab, welche diese treffen."

Wenn aber die Menge der Strahlen schon eine große Bedeutung hat, so hat ihre Beschaffenheit eine mindestens ebenso große. Die Strahlen von geringer Durchdringungskraft äußern eine starke Wirkung auf das Bindegewebe der Haut, welches sie einzusaugen scheint, während im Gegenteil Strahlen mit starker Durchdringungskraft gar keine Wirkung auf die Haut ausüben.

Mit dem Radiochromometer von Benoist, welches die Art der Strahlen angibt, mit dem Osmoregulator von Villard, welcher gestattet, die Luftleere in der Röhre zu regulieren, und dem Spinthermeter von Dr. Béclère, welches in jedem Augenblick den Grad der Durchdringungskraft der Strahlen mißt, ist man nunmehr in der Lage, wirkliche Messungen ausführen zu können, und die Radiotherapie hat sich damit aus dem Empirismus heraus zu einer wirklichen Wissenschaft erhoben.

Schließlich spielen noch außer der Menge und der Art der Strahlen manche andere biologische Faktoren eine einflußreiche Rolle: nämlich Gattung, Alter, Körperteil, und ob die behandelte Haut gesund ist oder nicht.

Wirkung der Radiumstrahlen. Allgemeines.

Im Kapitel III dieses Buches sind die Radiumstrahlen in drei verschiedene Gattungen eingeteilt worden.

1. Die α-Strahlen, welche verhältnismäßig wenig durch ein magnetisches Feld abgelenkt werden, und zwar in demselben Sinne, wie die Kanalstrahlen; sie besitzen nur sehr geringe Durchdringungskraft, welche schon durch einen Aluminiumschirm von 0,02 mm gänzlich aufgehoben wird; endlich zerstreuen sie sich in der Luft nur bis auf 6 cm. Diese

[1]) Holzknecht, Wiener klinische Rundschau. **16**. 1902. Nr. 35. S. 685.

ein Muttermal und wurde damit der Schöpfer dieses neuen therapeutischen Verfahrens.

Unter den Röntgenröhren verursachen einige physiologische Wirkungen, andere dagegen nicht. Man schreibt die Wirkungen, welche nur mit gewissen Sorten von Röhren sich erzeugen lassen, teils den Strahlen selber zu, teils den nebenherlaufenden elektrischen Entladungen.

Röntgen teilt die Röhren in harte, halbweiche und in weiche ein; Härte bezeichnet den Widerstand, welchen die Glashülle dem Durchgange des elektrischen Stromes entgegensetzt; dieser Widerstand wird umso stärker, jemehr die Luft in der Röhre verdünnt worden ist.

Im Jahre 1900 bewiesen Strater und Kienboeck[1]), beide in Wien, und Oudin in Paris wissenschaftlich, daß die Strahlen an und für sich eine Wirkung auf die Haut ausüben und daß diese Wirkung von der Menge der Strahlen, welche erstere treffen, abhängig ist.

Kienboeck teilt die Röhren in 5 Sorten ein.

1. Sehr weiche Röhren. Sie leiten zwar gut, liefern aber wenig Röntgenstrahlen.

2. Weiche Röhren. Diese liefern Radiographien, bei denen die Knochen kaum sichtbar sind; die Durchdringungskraft der Strahlen ist gering und sie geben keine gleichzeitigen elektrischen Entladungen.

3. Halbweiche Röhren sind solche, mit denen man die besten Bilder erhält, kontrastreiche Schatten neben scharfbegrenzter Helligkeit, viel Strahlen und wenig Nebenentladungen.

4. Harte Röhren erzeugen schwache Bilder, bei geringer Durchdringungskraft der Strahlen und vielen Nebenentladungen.

5. Sehr harte Röhren. Bei diesen erhält man ausschließlich Nebenentladungen.

Kienboeck zeigte zuerst, daß man mit harten und sehr harten Röhren keine Einwirkung auf die Haut erzeugen könne, und daß im Gegenteil mit halbweichen Röhren ein Maximum zu erreichen sei, und daß diese auch die meisten Röntgenstrahlen erzeugten.

Derselbe Forscher bewieß auch, daß mit einem Metallschirm sich alle Einwirkungen der Röntgenstrahlen unter-

[1]) Kienboeck, Wien. klinische Wochenschrift. 1900. Nr. 50.

drücken lassen, und daß mit 10 mal weniger Strahlen sich Haarausfall erreichen läßt, als Hautnekrose.

In neuester Zeit ist man mit Hilfe des Holzknechtschen Chromoradiometers[1]), welcher die Menge der erzeugten Strahlen angibt, so weit gelangt, um das von Kienboeck formulierte Gesetz beweisen zu können, welches besagt:

„Die Reaktion auf die Haut hängt von der Menge der Strahlen ab, welche diese treffen."

Wenn aber die Menge der Strahlen schon eine große Bedeutung hat, so hat ihre Beschaffenheit eine mindestens ebenso große. Die Strahlen von geringer Durchdringungskraft äußern eine starke Wirkung auf das Bindegewebe der Haut, welches sie einzusaugen scheint, während im Gegenteil Strahlen mit starker Durchdringungskraft gar keine Wirkung auf die Haut ausüben.

Mit dem Radiochromometer von Benoist, welches die Art der Strahlen angibt, mit dem Osmoregulator von Villard, welcher gestattet, die Luftleere in der Röhre zu regulieren, und dem Spinthermeter von Dr. Béclère, welches in jedem Augenblick den Grad der Durchdringungskraft der Strahlen mißt, ist man nunmehr in der Lage, wirkliche Messungen ausführen zu können, und die Radiotherapie hat sich damit aus dem Empirismus heraus zu einer wirklichen Wissenschaft erhoben.

Schließlich spielen noch außer der Menge und der Art der Strahlen manche andere biologische Faktoren eine einflußreiche Rolle: nämlich Gattung, Alter, Körperteil, und ob die behandelte Haut gesund ist oder nicht.

Wirkung der Radiumstrahlen. Allgemeines.

Im Kapitel III dieses Buches sind die Radiumstrahlen in drei verschiedene Gattungen eingeteilt worden.

1. Die α-Strahlen, welche verhältnismäßig wenig durch ein magnetisches Feld abgelenkt werden, und zwar in demselben Sinne, wie die Kanalstrahlen; sie besitzen nur sehr geringe Durchdringungskraft, welche schon durch einen Aluminiumschirm von 0,02 mm gänzlich aufgehoben wird; endlich zerstreuen sie sich in der Luft nur bis auf 6 cm. Diese

[1]) Holzknecht, Wiener klinische Rundschau. **16**. 1902. Nr. 35. S. 685.

Strahlenart macht die größte Menge des gesamten Strahlenbündels aus, etwa 64%.

2. Die β-Strahlen werden durch ein magnetisches Feld in demselben Sinne abgelenkt, wie die Kathodenstrahlen; sie umfassen Strahlen von sehr großer und von sehr geringer Durchdringungskraft, wirken noch auf mehrere Meter Entfernung, und betragen etwa 24% der gesamten Strahlung.

3. Die γ-Strahlen werden durch ein magnetisches Feld nicht abgelenkt, sind den Röntgenstrahlen analog und besitzen starke Durchdringungskraft. Sie bilden nur 10% der gesamten Strahlung. Somit üben nur die α-Strahlen und ein Teil der β-Strahlen eine Wirkung auf die Haut aus, dabei ist es notwendig, nur mit geringen Abständen und möglichst dünnen und wenig absorbierenden Blenden zu arbeiten.

Die auf menschlicher Haut durch Radiumstrahlen erzeugte Wirkung ist von den nachbenannten Forschern Walkhoff[1]), Giesel[2]), Becquerel und Curie[3]) untersucht worden. Becquerel hat ein Röhrchen, welches 0,2 g eines Radiumsalzes von etwa 800000 Aktivität enthielt, während 6 Stunden in der Achselhöhle seines Flanellhemdes getragen, und nach Ablauf von 2 Wochen sich ein Erythem zugezogen, welches Geschwüre bildete und nicht wieder heilen und vernarben wollte. Nach einem Monat, während dessen die Wunde mit Umschlägen von Kalkliniment sorgfältig gepflegt worden war, heilte diese und Becquerel verspürte keine Schmerzen mehr.

Frau Curie erlitt einen ähnlichen Unfall während einer Reise in Polen.

Herr Curie wiederholte den Versuch, indem er 10 Stunden lang ein Gummisäckchen, welches Radium von der Aktivität 5000 enthielt, auf seinem Arm befestigte. Es zeigte sich an der Stelle ein Erythem, welches seine Röte verlor, nach Ablauf von 20 Tagen zu schwären begann, während 42 Tagen nicht wieder heilen wollte und erst nach 4 Monaten sorgfältiger Pflege verschwand.

Alle Personen, welche mit Radiumsalzen gearbeitet haben, bestätigen die vollständige Abschuppung der Haut von den

[1]) Walkhoff, Photogr. Rundschau. Oktob. 1900.
[2]) Giesel, Berichte d. deutsch. chem. Gesellsch. **23**.
[3]) Becquerel u. Curie, Comptes rendus. **132**. S. 1289.

Händen, welche schmerzhaft werden; und diese Schmerzen dauern bisweilen 2 Monate. Die Stellen der Haut, welche mit Radium in Berührung gekommen sind, verhärten sich, die Haut wird brandig und es hinterbleiben Narben.

Frau Curie hielt eine metallene Büchse, in welcher ein Röhrchen mit Radium eingeschlossen war, eine halbe Stunde lang in der Hand, infolgedessen sich nach Ablauf von 2 Wochen ein Erythem und daraus später eine weiße Wasserblase entwickelte. Diese wurde durch Dr. Oudin als eine Radiodermatitis erkannt. Giesel legte ein Celluloidröhrchen, welches 0,3 g reines Radiumbromid enthielt, 2 Stunden lang auf seinen Arm und konnte ein Erythem konstatieren, welchem nach 2—3 Wochen eine Hautentzündung folgte, verbunden mit Aufblähung der Haut und Nässen, wie bei einer Brandblase. 3 Monate später war die Wunde geheilt, aber die Haut blieb niedergedrückt, glänzend, glatt und im Umkreise aufgetrieben, wie nach einer Verbrennung.

Dr. Oudin hat Versuche an verschiedenen Körperteilen von Meerschweinchen angestellt; die Expositionsdauer betrug überall 20 Minuten und er stellte Ausfall der Augenwimpern fest, indeß folgten keine Entzündungserscheinungen, weder an Schenkeln noch Hinterteilen während 2 Monaten.

Die verschiedenen Teile des Körpers reagieren verschieden gegen Radiumbestrahlungen. Der ursprüngliche Zustand der Haut und die Expositionsdauer sind ebenso wie die Aktivität der radioaktiven Substanz von Hause aus maßgebend für die Wirkungen. Der Verfasser ist persönlich zweimal zu verschiedenen Zeiten das Opfer von weniger schweren Unfällen geworden, als er Radiumsalze einige Stunden lang beobachtet hatte. Nach 1 Woche zeigte sich ein ziemlich schmerzhafter Schnupfen mit Anschwellung, Hautabschuppung und ähnlichen Erscheinungen, wie nach einem Sonnenstich.

Wirkungen der Radiumstrahlen auf gesunde Haut.[1])

Die Einwirkungen auf die Haut lassen sich nach drei verschiedenen Methoden ausführen.

[1]) Exner, Wien. klin. Wochenschrift. Juni 1903. Nr. 27. Exner u. Holzknecht, Berichte der Wiener Akademie. math. naturw. Kl. B. **112.** Abt. III. Juli 1903. S. 156ff.

1. Starke und einmalige Bestrahlungen erzielen gleiche Wirkungen, sei es nun, daß sie während weniger Stunden mit Radium von starker Aktivität oder während vieler Stunden mit Radium von geringer Aktivität angewendet werden. Das erlangte Resultat ist stets eine heftige Radiodermatitis.

2. Starke und wiederholte Bestrahlungen. Bei diesen wendet man sehr stark aktives Radium an, aber nur während weniger Minuten und wiederholt die Bestrahlungen mehrere Tage lang. Auch hierbei kann es vorkommen, daß Radiodermatitis folgt. Diese Methode bewirkt gleichfalls eine brandige Erkrankung wie die erstere, nur einen Grad schwächer.

3. Schwache und lange Bestrahlungen. Man verwendet zu diesen Radium von sehr schwacher Aktivität während langer Dauer. Diese Methode hat keine brandigen Erscheinungen im Gefolge und man wird sie voraussichtlich für die Folge allen anderen vorziehen.

Die heftigen Radiodermatitis haben mehr oder weniger schwere Folgen. Sie lassen sich nach dem Grade ihrer Erheblichkeit, wie die Verbrennungen, einteilen.[1]) Wir entlehnen die folgende Klassifikation Dr. de Pissaref.

Erster Grad. Dieser ist gekennzeichnet durch Nichtverletzung der Hautoberfläche unmittelbar nach der Behandlung und während der Inkubationsperiode, d. h. des Zeitraumes, während dessen sich die Wirkungen vorbereiten. Nach 2 bis 3 Wochen werden die ersten Symptome bemerkbar, nämlich das Haarsystem wird spröde und fällt aus. Der Haarausfall kann vollständig eintreten und glatte Haut hinterlassen, welche während einiger Zeit gebräunt erscheint. Nach 2 Monaten sprossen dann die Härchen von Neuem und die behandelte Stelle nimmt ihr früheres Aussehen wieder an.

Zweiter Grad. Dieser macht sich bemerkbar durch ein anfangs leicht gerötetes, später dunkleres Erythem; das Bindegewebe der Haut füllt sich mit Blut, und es entsteht Jucken. Bisweilen bleibt die Verletzung bei diesem Grade stehen, es tritt Hautabschuppung ein; die Epidermis wird wieder normal, aber sie ist viel zarter geworden, unbehaart; bisweilen bleibt letzterer Zustand dauernd.

[1]) Exner u. Holzknecht, Berichte der Wiener Akademie, math. naturw. Kl. B. 112. Abt. III. Juli 1903. S. 158.

Dritter Grad. Dieser macht sich durch ein heftiges, dunkles und von lebhaftem Jucken begleitetes Erythem bemerkbar. Die Haut bläht sich auf, bekommt Wasserblasen und Hitzblätterchen, aus denen eine trübe, später eitrige Flüssigkeit herausfließt. Sobald das Bindegewebe zerreißt, entsteht an dieser Stelle ein nässendes Geschwür und das Jucken wird stärker und stärker.

Weiter unten soll der Fall eines Lupuskranken betrachtet werden, welcher infolge der Schmerzen, die ihm die Radiodermatitis verursachte, während eines Monats nicht schlafen konnte. Solche Zustände können im allgemeinen 1—2 Wochen dauern, schließlich tritt Heilung von selber ein durch lokalisierte Vernarbung; der Haarausfall kann bestehen bleiben, desgleichen eine Hautfärbung mit unvertilgbaren Spuren.

Vierter Grad. Dieser kennzeichnet sich durch totale Zerstörung der Haut, bisweilen verbunden mit gräßlichen Schmerzen im Anfang, welche sich allmählich verlieren. Die Oberfläche ist wund, es zeigen sich gelbe und graue Flecke, welche sich ausdehnen; braune, wenig empfindliche Schorfe bilden sich, welche von den gesunden Teilen sich fern halten und eine dicke, seröse, schließlich eitrige Flüssigkeit absondern.

Die Schorfe lösen sich schwer ab. Die Wunde ist sehr tief, sie bessert sich erst nach und nach und vernarbt schließlich mit einer zur Verzweiflung bringenden Langsamkeit. Die Narbe zeigt unregelmäßige, geschwollene Ränder; sie ist gefärbt, bisweilen tief, und gleicht der Narbe einer schweren Verbrennung.

Das, was die Radiodermatitis allen anderen Verbrennungen gegenüber kennzeichnet, seien es solche durch Sonnenstrahlen, oder solche durch den elektrischen Lichtbogen erzeugte, das ist die Inkubationsperiode oder die latente Periode, welche 1—3 Wochen währt und durch eine Entzündung eingeleitet wird. Aufeinanderfolgende Bestrahlungen scheinen eine allmähliche Steigerung der Wirkungen hervorzurufen und dabei ereignen sich auch seltener Unfälle, sofern mit einer gewissen Vorsicht verfahren wird.

Entzündungserscheinungen sind unter allen Umständen viel geringer bei einer längeren Reihe von Bestrahlungen, deren Gesamtdauer gleich ist der Zeit einer einzigen. Auch sind die

Wirkungen viel lebhafter, wenn die Bestrahlungen in längeren Zeitabständen wiederholt werden.

Wir kommen weiter unten auf die Bestrahlungen von langer Dauer mit schwach aktivem Radiumsalz zurück.

Im übrigen spielt Idiosynkrasie bei diesen Wirkungen eine ganz unbedeutende Rolle.

Die Haut von Frauen und Kindern ist empfindlicher als die des Mannes. Das Gesicht und die oberen Glieder sind leichter zu beschädigen als Beine und Rücken, schließlich widersteht kranke Haut schwächer als gesunde.

Anatomische Veränderungen.

Manche Forscher glauben, daß die Radiumstrahlen auf den Kreislauf der Säfte und auf die Zellgewebe selber einwirken. Dr. Scholtz in Breslau hat in der dortigen Klinik für Hautkrankheiten sehr eingehende Untersuchungen über die durch Röntgenstrahlen herbeigeführten anatomischen Veränderungen angestellt, deren Schlußfolgerungen hier wiederholt und auf die Wirkungen der Becquerelstrahlen, die sehr intensiv wirken, ausgedehnt werden.

1. Die Röntgenstrahlen üben vornehmlich Einfluß auf das Zellgewebe der Haut aus, welches zunächst erreicht wird und einer langsamen Entartung unterliegt, während die Bindegewebe, Muskeln und Knorpel nur in sehr geringem Maße angegriffen werden und nur in zweiter Linie leiden können.

2. Die Entartung erstreckt sich vornehmlich auf die Zellen der Epidermis und viel weniger auf die Drüsen, Gefäße, Muskeln und Bindegewebe.

3. Die Weiterverbreitung der Entartung ändert sich unter Umständen und kann sich ebenso auf Wandung wie auf Zellenkern erstrecken.

4. Sobald die Entartung der Zellenelemente einen gewissen Grad erreicht hat, offenbart sich das entzündliche Stadium durch Ausdehnung der Gefäße, Wassergeschwulst und Umsichgreifen der im Blute enthaltenen weißen Blutkörperchen. Wenn sodann infolge eines schärferen Eingriffs die Entartung des Zellgewebes weiter fortschreitet, dann sammeln sich die weißen Blutkörperchen an und befördern die gänzliche Zerstörung des Bindegewebes.

5. Die Verletzungen der großen und der kleinen Gefäße spielen vermutlich eine nicht unbedeutende Rolle bei der Entwicklung der Geschwüre und ihrer ungewöhnlich langsamen Heilung.

Physiologische Veränderungen.

Dr. Oudin ist der Meinung, daß die Störungen verursacht sind durch Veränderungen, welche die unter der Haut endigenden Verzweigungen der Ernährungsnerven erleiden, umsomehr als diese von dem Zentralnervensystem abhängig sind, welches die gesamte Ernährung des menschlichen Körpers beherrscht.

Kienboeck dagegen glaubt an eine chemische Veränderung der Haut, hervorgerufen durch Absorbierung der Strahlen nach Analogie der Vorgänge, welche die Umwandlung der ultravioletten Strahlen des elektrischen Bogenlichts in chemische Energie zur Folge haben. Es bilden sich anormale Substanzen, wirkliche Gifte, welche sich während der latenten Periode in den Geweben anhäufen und danach eine Entzündung mit allgemeiner Vergiftung (Intoxikation), gefolgt von Fieber, zum Ausbruch bringen.

Nach persönlicher Ansicht des Verfassers ist die Hypothese von Dr. Oudin die richtige[1]).

Anwendung der Radiumstrahlen in der Therapie.

Die Radiumstrahlen in schwachen Dosen regen das Zellgewebe an, während sie in starken Dosen angewendet dieses zerstören.

So z. B. kann Haarausfall durch Radiumstrahlen erzeugt werden, und andererseits kann man damit auf die Haarwurzel einwirken und neuen Haarwuchs an Stellen erzeugen, wo eine Hautkrankheit ihren Ausfall veranlaßt hatte.

Im übrigen ist die Anwendung der Strahlen in folgenden Fällen indiziert.

1. Gegen Erschlaffung des Gewebes der Kopfhaut, indem dadurch eine bessere Ernährung der erkrankten Stelle eingeleitet und das gesamte Haarsystem angeregt wird;

2. Gegen lokalisierte Affektionen der Hautadnexe (Haar-

[1]) Anmerk. d. Übersetzers. Östereichische und deutsche Ärzte halten die Kienboecksche Ansicht für die richtige, und die Röntgenpraxis scheint sie in vieler Hinsicht zu bestätigen.

drüsen und Haarbälge), oder bei schweren Krankheiten, wie Erkrankungen der Schleimhäute, oberflächlichem Krebs und Flechten.

Bisher hat man fast ausschließlich nur die zerstörenden Wirkungen der Strahlen benutzt und Geschwüre damit erzeugt.

Mit gutem Erfolge hat man Lupus, Flechten, Ausfallen der Haare, Lippen-, Gaumen-, Nasenkrebs, Epithelioma, welches die Augenhöhle durchbohrt hatte, geheilt und schließlich auch ein Muttermal beseitigt.

Es eröffnet sich hier ein weites Feld für die Heilkunde, welches sehr fruchtbar zu werden verspricht und auch bereits von vielen Ärzten bearbeitet wird.

In erster Linie gehören hierher die Arbeiten des Dr. Danlos am Hospital Saint-Louis, welche nachfolgend eingehender besprochen werden.

Behandlung des Lupus.[1])

Dr. Danlos benutzte Radiumsalze, welche ihm von Herrn Curie zur Verfügung gestellt worden waren.

Er füllte Pulver solcher Salze in kleine Gummibeutel oder in Celluloidzellen. Letztere waren rechtwinklig und hatten ungefähr 40 mm zu 50 mm Seitenlänge, sodaß die Salze darin Flächen von 15 mm zu 20 mm und 25 mm zu 30 mm bei einer Höhe von 2 mm bis 3 mm bedeckten.

Diese Beutelchen oder Zellen haben den Vorteil, daß ihre Hülle wenig Strahlen verschluckt, daß sie leicht anhaften und sich bequem auf die zu behandelnden Stellen auflegen lassen. Anderseits haben sie den Nachteil, daß sie Seitenstrahlungen auf benachbarte Stellen in nächster Nähe der behandelten übertragen, daß sie leicht zerreißen und sich schwer antiseptisch reinigen lassen.

Während der beiden letzten Jahre haben Dr. Danlos und sein Assistent Dr. Block Radiumchlorid mit folgenden Aktivitäten angewendet:

1000, 1800, 5200 und 19000.

Neuerdings wollen diese Ärzte aber radioaktives Baryumchlorid mit einer Aktivität von 200000 verwenden, welches ungefähr ein $^1/_9$ seines Salzgewichts, und ferner Salz mit einer

[1]) Strassmann, Archiv f. Dermatologie u. Syphilis. 71. S. 104. 1904

Aktivität von 300000, welches ungefähr $^1/_6$ seines Salzgewichts an reinem Radium enthält.

Die Art und Weise der Anwendung ist sehr verschieden, wie wir sogleich sehen werden[1]).

Das Auflegen der Zellen geschieht mit Hilfe von Gaze- oder Flanellstreifen. Die Zeitdauer der Belegung währt 6 bis 8 Stunden, bisweilen bei schwacher Aktivität 100 bis 120 Stunden, in der Mehrzahl der Fälle aber 24 bis 48 Stunden.

Dr. Danlos hat am 3. Juli 1902 seine Arbeiten über Behandlung des Lupus durch Radium der Pariser Gesellschaft für Dermatologie und Syphilographie vorgetragen.

„Voran die Beobachtungen, welche er mit Behandlung während 24 bis 36 Stunden bei einer Aktivität der Zellen von 5200 oder 19000 gemacht hat. Zuerst ist ein wenig Rötung der Haut oder auch gar nichts bemerkbar, nach einiger Zeit, nach 6, 15 auch 20 Tagen, welche von der ursprünglichen Beschaffenheit der Haut abhängt, zeigt die Epidermis an den Stellen der Auflegung und in einer Ausdehnung, welche diejenige der Zelle nicht wesentlich überschreitet, einen erweichten Zustand, weißliches Aussehen und ist abgestorben. Öfters zeigen sich gleichzeitig eiternde Hitzblattern, die Haut zerreißt und nach wenigen Tagen ist die ganze Stelle wund. Alsbald zeigt sich dann auch reichliche wäßrige Absonderung aus dieser.

Mit schwacher Aktivität lassen sich keine besonderen Krankheitserscheinungen hervorbringen. Dagegen verursachen starke Aktivität verbunden mit langen Bestrahlungen Schmerzen, besonders im Gesicht. Nach 6 Wochen bis 3 Monaten heilt die Wunde und hinterläßt eine weißliche Narbe."

Die hervorgerufenen Wirkungen wechseln je nach den besonderen Umständen:

1. Aktivität des Salzes;
2. Zeitdauer der Bestrahlung;
3. Zustand des Körperteiles, um den es sich handelt

Vorläufig, und solange die Behandlungsweise noch nicht fest ausgeprobt ist, verfährt man mit äußerster Vorsicht, welche

[1]) Exner, Berichte der Wiener Akademie. math. naturw. Kl. B. 112. Abt. III. Oktober 1903. S. 285 ff.

nicht nur geboten, sondern von größter Wichtigkeit ist, denn man hat es vorläufig mit einer unbekannten Größe zu tun.

Dr. Danlos erreichte bei Anwendung von Radiumsalz mit der Aktivität 1800 während 120 Stunden nur geringe und wenig beständige Veränderungen; dagegen überschritt er mit Radiumsalz von 19000 Aktivität bei gleicher Zeitdauer das Ziel. Nach seiner Meinung ergibt schwache Aktivität die sichersten Erfolge, aber man muß sich auf Recidive gefaßt halten, welche bei starker Aktivität nicht beobachtet worden sind.

Voraussichtlich sind mit Radiumsalzen von der Aktivität 1800 bei einer Bestrahlungsdauer von 200 Stunden dauernde Erfolge zu erzielen, da selbst schon mit Radium von 240 Aktivität seitens Dr. Darier ausgezeichnete Wirkungen erreicht worden sind.

Die Zeitdauer der einzelnen Bestrahlungen scheint einen besonderen Einfluß auf die latente Periode auszuüben; um schnelle Erfolge zu erreichen, tut man besser, lange Bestrahlungen als sehr starke Aktivität anzuwenden.

Mit Radium von 19000 Aktivität, welches während 4 Tagen aufgelegt war, brachte man ein Geschwür hervor, welches sich beim Abnehmen der Zelle zeigte, während die gleiche Erscheinung nach 2 Wochen eintrat, wenn man die Zelle 24 Stunden hatte liegen lassen.

Folgeerscheinungen nach Auflegen des Radiums auf einen Lupus.

Nach den Erfahrungen des Dr. Blandamour, zweiten Assistenten bei Dr. Danlos, sind die fraglichen Erscheinungen in 3 Phasen einzuteilen:

1. Phase vor Entstehen der Geschwüre;
2. Phase während der Geschwüre;
3. Phase während der Vernarbung.

1. Phase vor Entstehen der Geschwüre. Wie wir gesehen haben, beginnt unmittelbar nach der ersten Bestrahlung die latente Periode der Wirkungen des Radiums; bisweilen aber, sei es nach sehr langem Liegenlassen, sei es nach Anwendung von Radium mit sehr starker Aktivität, zeigte sich ein Erythem; mit gleichem Rechte ließ sich ein Geschwür erwarten.

Nach einem Erythem entsteht allemal eine Hauterweichung; die bedeckt gewesene Stelle bleicht sich, bisweilen mit einem geröteten Saum umgeben, und bedeckt sich mit Schorf oder mit schlaffen Bläschen.

Bei einem erythematischen, tiefliegenden Lupus ist das Erythem vielfach unterbrochen, aber man kann deutlich die Konturen der aufgelegten Zelle unterscheiden.

Wenn die Wirkung ungenügend war, verschwinden zuweilen die Erweichungen und die Bläschen ohne Narbenbildung, die Haut fältelt sich, schuppt ab und hinterläßt eine leichte Hautabschürfung.

Ist die Geschwulst groß, so entwickelt sich meistenteils seröse Flüssigkeit, es bilden sich gelbliche, zunächst vereinzelte, später zusammenschließende Schuppen, welche abfallen und ein einziges großes Geschwür hinterlassen.

Die behandelte Stelle hat dann das Aussehen einer Verbrennung; die schlaffen Bläschen mit Flüssigkeit erfüllt, öffnen sich und das Geschwür fängt an zu eitern.

Die Kranken klagen über leichtes Jucken nach Entstehen eines Erythems, ebenso nach Entstehen der Geschwüre. Es ist auch bemerkt worden, daß nach Anwendung sehr starker Aktivität sich die Empfindlichkeit der Haut steigert.

2. Phase während der Geschwüre. Bisweilen tritt ein Geschwür, wie gesagt, schon vor Wegnahme der Zelle ein. Im allgemeinen aber zeigt es sich erst nach 10 Tagen bis 2 Wochen, manchmal sogar erst nach 20 Tagen. Durch Vereinigung der kleinen Abschuppungen entstehen an allen Stellen, wo Hautbläschen im Entstehen sich befinden, Geschwüre, deren Umfang wegen der Seitenstrahlen über denjenigen der Zelle etwas hinausgeht.

Das entstandene Geschwür hat ein ganz besonderes, eigenartiges, bleiches, weißliches Aussehen. Sein Grund ist wie poliert, flach, ohne Fleischwucherungen. Das Charakteristische ist das gänzliche Fehlen einer Neigung zu regenerativen Vorgängen und Vereinigung mit der gesunden Haut, was auch der Grund zur langsamen Vernarbung der Wunde ist.

Zum Teil sondert sich farblose, bisweilen aber auch blutige Flüssigkeit aus der Wunde ab. Die Empfindlichkeit

ist vermehrt, die Kranken fühlen das Bedürfnis, sich zu kratzen und haben dieselbe Empfindung wie bei einer Verbrennung.

Dagegen hat man mit Erfolg Umschläge von Borwasser angewendet; manche Kranke haben auch in Wasser getauchte Wegerichblätter aufgelegt; solche Umschläge haben die Schmerzen wesentlich gelindert, sowie auch zur Heilung beigetragen.

Dr. Blandamour ist der Meinung, daß die Wegerichblätter die induzierte Radioaktivität, welche die Wunde besitzt, absorbieren und daß namentlich die induzierte Aktivität die Heilung verzögert. Verfasser ist der Meinung, daß Dr. Blandamour hierin einen Irrtum begeht, weil das Phänomen der induzierten Radioaktivität nicht auftreten kann; dieses Phänomen findet überhaupt nicht, wie wir weiter unten sehen werden, außerhalb des geschlossenen Raumes, worin das Radium sich befindet, statt (Vergl. S. 86 u. ff.).

3. Phase der Vernarbung. Im allgemeinen haftet ihr nichts außergewöhnliches an, wenn es nicht die große Langsamkeit der Heilung ist. Es entstehen kleine Pusteln, die Oberhaut bildet sich neu, von den Wundrändern ausgehend, und hinterläßt eine weiße, glatte, oberflächliche, geschmeidige Narbe. Diese verlangt zur vollkommenen Schließung 6 Tage bis 3 Monate; in der Mehrzahl der Fälle war die Dauer 15 bis 25 Tage.

Allgemeine Folgen nach der Behandlung mit Radium.

Im allgemeinen kommen wenig schwere Fälle vor. Unter 30 behandelten Fällen hat Dr. Danlos nur 2 beobachtet.

1. Schmerzhafte Wundgeschwüre.

Nach einer zweiten eigenmächtigen Anwendung von Radium mit der Aktivität 19000 durch den Kranken selber, welche ihm nicht verordnet war, begann die Wunde so stark zu jucken und zu brennen, daß der Kranke in Schlaf verfiel, und die Schmerzen schwanden erst nach Cocainumschlägen, welche man während der Dauer eines Monats fortsetzen mußte. Möglicherweise war die Wundfläche infiziert worden. Indes man ersieht aus diesem Vorfall, daß bei Radiumanwendungen, selbst bei solchen mit verhältnismäßig schwachen Aktivitäten, mit äußerster Vorsicht verfahren werden muß.

2. Verzögerungen bei der Vernarbung und Sklerose.

Über einen warzenartigen Lupus an der Hand, welcher einer langwierigen Behandlung mit Radium zu 19000 unterzogen wurde, haben die Herren Dr. Hallopeau und Gadaud eine besondere Mitteilung an die Pariser Dermatologische Gesellschaft am 31. Juli 1902 gemacht, aus welcher der nachfolgende Auszug in extenso nebst Beantwortung durch Dr. Danlos hier wiederholt ist:

„Aus dem fraglichen Krankheitsverlauf erinnern wir uns vornehmlich der beträchtlichen und wirklich überraschenden Besserung, welche sich an dem Lupus eines längere Zeit unter unserer Behandlung gewesenen Kranken, vollzogen hatte. Die warzenartigen Höcker waren fast gänzlich verschwunden, es waren sozusagen nur noch Spuren davon zu sehen, und diese zeigten durchweg glatte Narben von gutem Aussehen. In der Tat darf dieser Fall als eine vorzügliche Empfehlung für diese neue Heilmethode gelten, und für ihren hohen Wert sprechen."

„Allerdings hatte dieser Fall auch seine Schattenseiten, welche darin bestanden, daß 2 Wunden zurückblieben, welche während 6 Monaten trotz unserer sorgfältigen Behandlung mit verlangsamten Bestrahlungen der Heilung trotzten. Möglicherweise war hieran Sklerose schuld, welche diesen Lupus von hause aus begleitete, und ihrerseits auch Anteil an der Verschleppung der Heilung hatte. Wie dem aber auch sei, hat sich an dieser Form von Lupus gezeigt, daß Radiumbestrahlungen nicht ohne Grund zu lange währen dürfen."

„Noch einen anderen Übelstand darf man dieser Behandlung zum Vorwurf machen, nämlich daß sie unter Umständen bei auftretenden Komplikationen einseitig wirkt. In diesem Falle mag hauptsächlich auf die Sklerose hingewiesen werden, und den Versicherungen unseres Patienten, der durchaus zuverlässig war, Glauben geschenkt werden. Er versicherte nämlich, daß es ihm seit seiner Behandlung mit Radium fast unmöglich wäre, seine kranken Finger zu biegen, was durchaus glaubwürdig erscheint, denn auch bei den Praktikern, welche Radiographie betreiben, entwickelt sich zuweilen Sklerose in recht prononcierter Form. Man sollte deshalb auch bei Verwendung dieser Substanz auf ihre Sklerose erzeugende Eigenschaft Rücksicht nehmen."

Hierauf hat Dr. Danlos folgendermaßen geantwortet: „Es handelte sich bei diesem Falle um einen widerspenstigen Lupus mit Warzenbildungen, welcher mehrfach von anderen Ärzten und einmal auch von mir behandelt wurde. Als der fragliche Kranke zum ersten Mal im November 1901 in meinem Krankensaal erschien, war der Lupus bedeutend ausgedehnter als heute. Genauere Aufzeichnungen über die Entwicklung der Wunden habe ich nicht gemacht, denn der Kranke verließ meine Behandlung wenige Tage darauf, nachdem er sich gezeigt hatte. Jedenfalls ist es außer allem Zweifel, daß die von Herrn Dr. Hallopeau vorgestellte Wunde nicht die Folge sein kann von einer jüngsten Radiumbestrahlung (19000 während 120 Stunden). Die Form der quadratischen Wunde entspricht genau dem Umfange der Radiumzelle. Nun entsteht die Frage, woher stammt das jetzige Aussehen der Wunde? Stets habe ich die Wunden von Radium nur oberflächlich angetroffen, aber diese scheint viel tiefer zu gehen als die Dicke der Haut. Soll man an eine Infektion der Wunde glauben und an den sklerosen Zustand des Fingers, der durch Lupus verursacht war? Hierüber eine entscheidende Antwort zu geben, ist schwer. Aber das glaube ich behaupten zu dürfen, daß es sich hier um zu lange währende Applikationen von Radium gehandelt hat. Trotz dieser Feststellung unterliegt es keinem Zweifel, daß der Kranke, welcher von einem sehr widerspenstigen Lupus befallen war, jedenfalls aus den verschiedenen früheren Applikationen einen reellen Vorteil gezogen hat, denn seine Hand ist, abgesehen von der fraglichen Vereiterung, heute in einem viel besseren Zustande, als beim Eintritt in meine Behandlung. Die Radiumbehandlung scheint jedenfalls bessere Erfolge gehabt zu haben, als alle früheren operativen Eingriffe. Über die Steifigkeit der Finger und über die Schmerzen des Kranken will ich nicht weiter reden, denn diese waren schon vorhanden, als der Kranke bei mir eintrat. Alles in allem zeigt dieser Fall, daß man sich durch Auflegung einer Radiumzellen von 19000 während 120 Stunden auf skleröse Gewebe einem langwierigen Heilungsprozeß aussetzt. Unter langwieriger Heilung verstehe ich eine solche, welche länger als 3 Monate währt, denn man darf nicht vergessen, daß im allgemeinen die durch Radium, ebenso wie die

durch Röntgenstrahlen hervorgerufenen Wundgeschwüre nur sehr langsam heilen."

Seitdem ist das Wundgeschwür, um welches es sich hier handelte, vollkommen geheilt.

Dr. Oudin ist der Ansicht, daß diese unangenehmen Zufälle sich dadurch vermeiden lassen, daß man die Röntgenstrahlen von den Kathodenstrahlen scheidet, sei es durch magnetische Ablenkung, sei es durch einen Aluminiumschirm. Nach Meinung des Verfassers dürfte dieses Verfahren bei Radium sehr zweifelhafte Folgen haben.[1]) Die α-Strahlen dürften bereits durch die Wände der Radiumzelle absorbiert sein; von den β-Strahlen wird gleichfalls ein Teil absorbiert, der andere nicht absorbierte, aber abgelenkte würde die Haut außerhalb der Applikationszone treffen; nun blieben noch die für ein magnetisches Feld unempfindlichen, aber sehr stark durchdringungsfähigen γ-Strahlen, welche vermutlich nur einen sehr schwachen Einfluß auf die Haut ausüben möchten, und somit würde solcher Versuch lediglich auf Absorption sich beschränken. Dazu kommt, daß die γ-Strahlen nur einen kleinen Teil der Strahlungen ausmachen, kaum 10%; man müßte deßhalb die Zeit der Strahlung wesentlich verlängern. Nichtsdestoweniger scheint es möglich, daß man vielleicht die γ-Strahlen zur Behandlung von tieferliegenden Krebsgeschwüren verwenden könnte, oder daß sie bei Lungen- und Unterleibstuberkulose gute Erfolge liefern möchte.

Einige von Dr. Danlos erzielten Erfolge mögen hier noch Erwähnung finden.

Mit schwachen Aktivitäten zu 1000—1800 erzielte man wenig ermutigende Erfolge, woran wohl hauptsächlich die verlängerten Bestrahlungen schuld gewesen sind. Mit Aktivitäten zu 5200 und 19 000, und einer Zeitdauer von 24—36 Stunden wurde in allen Fällen gründliche und dauernde Heilung erreicht.

Die hinterbliebenen Narben sind weiß, glatt und ein wenig größer als die benutzte Radiumzelle; mit Haaren scheinen solche Narben sich nicht wieder zu besetzen. Die mit Radium behandelten Hautstellen lassen sich leicht von solchen durch andere Kuren geheilten unterscheiden. Wirkliche Hei-

[1]) Exner, Berichte der Wiener Akademie, math. naturw. Kl. B **113**. Abt. III. Mai 1904. S. 185ff.

lungen von Lupus, Erythem und Tuberkeln hinterlassen keine äußerlichen Spuren.

Lupus ist eine Krankheit, bei der stets Rezidive zu befürchten sind, und noch vor einigen Jahren wagte man nicht auf eine ganz vollkommene Heilung zu rechnen. Abgesehen von den zwei besprochenen Fällen und des einen mit überraschend schnellem Recidiv darf man mit der neuen Heilmethode auf bessere Erfolge hoffen. Um vollkommene Resultate zu erzielen, ist es nötig, die ganze Oberfläche der kranken Stelle zu behandeln; mit der Wundmethode muß man von Stelle zu Stelle gehen und mit der größten Vorsicht verfahren.

Alles in allem bietet allein der hohe Preis des Radiums ein Hindernis für eine allgemeinere Anwendung, aber das ist auch nur ein Vorurteil, denn die Abnutzung ist gleich Null. Und in Wirklichkeit ist es auch nur die erste Ausgabe, aber diese legt man auf Zinseszins an, denn man muß die großen Vorteile der schnelleren ärztlichen Behandlung ins Auge fassen. Heilungen mit Radium dauern 3—4 Monate allerlängstens, für gewöhnlich nur 3—4 Wochen, während solche mit Finsen- oder de Lortet'schem Lichtheilverfahren stets mehrere Monate, zuweilen mehrere Jahre dauert und der Kranke große Schmerzen zu ertragen hat. Gegen Lupus wendete man bisher an: Sublimatumschläge, emplâtre de Vigo emplâtre rouge, Messer oder Galvanokauter, welche Behandlungsmethoden alle nur sehr unregelmäßige Erfolge hatten, während Radiumbehandlung dauerhaftere Erfolge verspricht.

Behandlung mit kurzen und wiederholten Bestrahlungen.

Diese Methode könnte man sehr wohl die trockene im Gegensatz zur anderen, der nässenden, nennen.

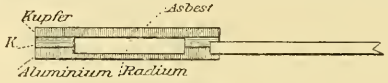


Fig. 17.

Für die trockene Behandlung mit Radium hat Herr Curie folgenden kleinen Apparat konstruiert.

Eine runde Zelle, etwa von der Größe eines Frankstückes, deren Deckel aus Kupferblech und deren Boden aus

dünnem Aluminiumblech (0,01 mm) besteht, ist durch Verlötung der beiden Deckel in der Weise zusammengefügt, daß zwischen den Deckeln ein Zwischenraum übrig bleibt, in welchen man Radium einfüllen kann. Das Radium von sehr starker Aktivität 200000 bis 300000 kommt auf das Aluminium zu liegen; es wird nach oben hin mit Asbestkarton bedeckt und das Ganze sodann an den Rändern zusammengelötet. Zur bequemen Handhabung ist die gedachte Radiumzelle mit einer metallenen Handhabe versehen.

Vermöge dieses kleinen Apparats kann der Kranke sich selber im Gesicht oder an den Händen bestrahlen, indem er die Aluminiumseite auf die kranke Stelle auflegt.

Mit Radiumbromid oder einem anderen radioaktiven Salz von der Aktivität 300000 würde man während 2 bis 3 Minuten mehrere Tage hintereinander bestrahlen. Auch könnte man mit diesem Apparat, nachdem man ihn jedesmal von frischem desinfiziert hätte, von einem Kranken zum anderen gehen. Dr. Danlos behandelt zur Zeit seine Patienten mit solchen Apparaten und man darf von dieser neuen Heilmethode die besten Erfolge erwarten.

Behandlung von Krebs. Nach den voraufgegangenen guten Erfahrungen mit der Behandlung von Lupus durch Radium hat man auch versucht, Krebs auf diese Weise zu heilen. In der Tat wäre es ein Segen für die Menschheit, wenn man dieser schrecklichen Krankheit Einhalt tun könnte. Ihre Fortschritte in fast allen Kulturstaaten sind beträchtlich, so kommen z. B. auf 100000 Seelen in England 50 bis 82 Krebsfälle, in Östereich 60 bis 94, in Frankreich 85 bis 120. Die durch sie erzeugte Sterblichkeit soll in Deutschland 1,43 bis 2,36 % überschritten haben, in England sogar 2,80 bis 8 % und dazu darf man annehmen, daß von 100 Krebsfällen 14 bis 15 erblich sind.

Bekannt ist es, daß man gegen Krebsgeschwüre der Oberhaut oder der Schleimhäute die Radiotherapie bereits mit Erfolg verwendet hat.

Ganz neuerdings führten die DDr. Dommer und Lemoine der Pariser medizinischen Akademie einen Kranken vor, den sie nach 7 Sitzungen von einem Magenkrebs ohne üble Einwirkungen auf die Haut geheilt haben. Demgegen-

über stehen die Meinungen von 3 Amerikanischen Ärzten. Dr. Z. T. Stovers in Washington ist der Ansicht, daß Röntgen- und Becquerelstrahlen zwar heilsame Wirkungen auf Krebsleiden der Haut, aber nicht auf tiefliegende ausüben. Dr. Skinner glaubt im Gegenteil, daß Röntgenstrahlen auch tiefliegende Krebsleiden heilen können. Dr. Alex. Graham Bell und Stovers begründen ihre Ansicht, daß Röntgenstrahlen die tiefliegenden Krebsleiden deshalb nicht heilen können, weil schon die oberflächlichen Gewebe der Haut diese Strahlen absorbieren und sie nicht bis zum tieferliegenden Geschwür durchdringen lassen.

Mit Radium würde man die Bestrahlung unmittelbar an der kranken Stelle vornehmen können. So hat z. B. Dr. Exner[1]) in Wien verschiedene Krebsleiden im Gesicht durch Auflegen von Kapseln behandelt, welche ein stark aktives Radiumsalz enthielten. Es entstand eine heftige Radiodermatitis, die Geschwulst erweichte sich, fiel, verminderte ihren Umfang und es hinterblieb schließlich eine Narbe von gutem Aussehen.

Prof. Gußenbauer[2]), ebenfalls in Wien, hat einen 61 Jahr alten Mann behandelt, der mit einem Krebsleiden an Lippen und Gaumen behaftet war. Mehrmalige Operationen waren ohne Erfolg geblieben, und schnelle Rückfälle eingetreten. Infolge der Behandlung mit Radium ist die Geschwulst vollkommen verschwunden, nach Ablauf von 10 Monaten kein Rückfall eingetreten, und die Heilung scheint vollkommen geglückt zu sein.

Einen anderen Fall hat Dr. Mackensie-Davidson, am Hospital Charing-Cross in London, geheilt, indem er ein an der Nasenwurzel ansetzendes Krebsgeschwür in 14 einzelnen

---

[1]) Exner, Berichte der Wiener Akademie, math. naturw. Kl. B. **112.** Abt. III. Oktober 1903. S. 285 ff.; ferner Exner, Wiener klin. Wochenschrift. Juni 1903. Nr. 27, und 1904. Nr. 4 und Nr. 7.

[2]) Anmerk. d. Übersetzers. Der verstorbene Prof. Gußenbauer hat selber niemals Nachrichten über Heilungsfälle aus seiner Klinik veröffentlicht. Die fraglichen Krankenberichte sind von Dr. Exner ausgegangen. Fälschlicherweise haben die Tageszeitungen den Namen Gußenbauers in Verbindung mit Radium gebracht, weil Dr. Exner in dessen Klinik damals (1903) arbeitete. Der Fall wurde nach Erkundigungen bei Dr. Alf. Exner überhaupt nie als geheilt vorgestellt. Der Autor hat nur falsch berichtet.

Sitzungen je 1 Stunde andauernd mit Intervallen von einigen Tagen wiederholt bestrahlt hatte. Nach 6 Wochen war jede Spur des Geschwürs verschwunden. Auch einen Ulcus rodens, welcher bereits das untere Augenlied zerstört hatte, hat er in gleicher Weise geheilt. Leider ist weder der Grad der Aktivität des Radiums, noch die Art der Anwendung bekannt.

Zu diesem Gegenstand verdient bemerkt zu werden, daß bei allen im Auslande behandelten Krankheitsfällen niemals die Aktivität genannt ist, während in Frankreich kein Arzt mit Radium behandelt, dessen Aktivität er nicht kennt, und keine Bestrahlungen vornimmt, ohne die Intensität der in den Zellen enthaltenen Salze vorher genau geprüft und gemessen zu haben.

Bezüglich dieser Frage sind allerdings bisher noch keine systematischen Arbeiten vorgenommen worden, und deshalb darf es mit Freude begrüßt werden, daß D'Arsonval und Bordas im Laboratorium für experimentelle Medizin des Collège de France dahinzielende Untersuchungen eingeleitet haben. Und in der Tat ist es dringend erwünscht, daß die Behandlungen mit Radium fortan wissenschaftlich und nicht empirisch betrieben werden.

In welcher Weise Strahlenmessungen sich einführen ließen, hat Dr. Béclère, Arzt am Hospital Saint-Antoine in Paris, gezeigt, indem er den Holzknecht'schen Chromoradiometer[1]) zur Bestimmung der Menge der durchdringungsfähigen Strahlen einer Radiumprobe anwendete. Dieser Apparat setzt sich bekanntlich aus 2 Teilen zusammen: 1). Eine Reihe verschiedener einzelner Reagentien. 2). Eine graduierte Skala, welche als Maßstab dient.

Jedes Reagens besteht in einem Salz, welches durch Röntgenstrahlen gefärbt werden kann, eingeschmolzen in einzelnen runden Glaszellen. Indem man nun das zu messende Radium während einer gewissen Zeitdauer vor die Reagenszelle bringt, bestimmt man vermittels der graduirten Skala die Farbe des Reagenssalzes. Letztere Skala ist aus 24 farbigen Reagenszellen zusammengesetzt, ähnlich wie diejenigen, in denen die Reagenzsalze sich befinden. Sie sind alle in einem Holzkasten untergebracht und zeigen eine blaugrüne Färbung,

[1]) Holzknecht, Wiener klinische Rundschau. 16. 1902. Nr. 35. S. 685.

deren Intensität von einem zum anderen Ende der Reihe zunimmt. Bei jedem Grade der Skala befindet sich eine Zahl, welche die Menge der absorbierten Strahlen angibt, und zwar nach einer vom Erfinder gewählten Einheit *H*.[1]) Die Reagenssalze halten dauernd vor, müssen aber stets im Dunkeln aufbewahrt werden.

Versuche haben den Beweis geliefert, daß man bei Behandlung einer kranken Stelle während eines Monats nicht über 10 *H* hinausgehen darf. Daraus ist ersichtlich, daß man nach voraufgegangener Messung sich Gewißheit über die Aktivität jeder Radiumprobe, welche man in einer Zelle zur Krankenbehandlung benutzen will, verschaffen kann.

Legt man z. B. die Seite 70 beschriebene Curie'sche Zelle zugrunde, und verschließt in solcher Radiumbromid von der Aktivität 7000, so erhält man eine Wirkung von 5 *H* während einer Bestrahlung von 12 Stunden und 10 *H* nach 24 Stunden. Ebenso erreicht man mit einer Aktivität 300000 5 *H* in 15 Minuten und 10 *H* in 30 Minuten; mit reinem Radiumbromid 5 *H* in 5 Minuten und 10 *H* in 10 Minuten.

Nach Kenntnis der erzeugten Wirkungen ist man in der Lage, für gewisse Arten von Lupus oder Krebs 6 *H* als ausreichend zu erachten, während man für einen anderen Fall bis auf 10 *H* gehen muß.

Die Anwendung des Holzknechtschen Chromoradiometers durch Dr. Béclère ist jedenfalls sehr anerkennenswert, denn durch genaue Vorausbestimmung der nötigen Dosen und Aufzeichnung der erreichten Erfolge wird es möglich, die in verschiedenen Fällen beobachteten Wirkungen in ein geordnetes System einfügen zu können und dadurch erhebt sich die Radiotherapie auf die Höhe einer wirklichen Wissenschaft; außerdem wird durch Vergleich der verschiedenen Behandlungsmethoden die Entscheidung darüber ermöglicht, was in gewissen Fällen sich mehr empfiehlt, ob eine längere Bestrahlung mit 10 *H* und schwach aktivem Salz oder kurze Bestrahlung mit reinem Salz.

Alle diese Messungen können keine absolute Gültigkeit

---

[1]) Anmerk. d. Übersetzers. Das Chromoradiometer ist von hause aus nicht für Radium-, sondern für Röntgenpraxis bestimmt, in welcher die Einheit *H* — Stundenmeter — bedeutet.

beanspruchen, aber sehr wohl als außerordentlich bequemer und hinreichend genauer Vergleichsmaßstab dienen.

Dr. Holzknecht hat ein Feuermal, eine Geschwulst, welche aus unendlich vielen feinen Blutgefäßen bestand, mit einer einzigen Bestrahlung von Radium stärkster Aktivität gänzlich beseitigt.

Therapeutische Anwendung von Radium schwacher Aktivität.

Hoch verdient hat sich Dr. A. Darier[1]) durch seine geistreiche Idee gemacht, indem er die Behandlung gewisser Augenkrankheiten mit Radium von schwacher Aktivität unternahm. Er verwendete Aktivitäten im Maximum von 1000, gebrauchte aber auch solche von 4 und 6. Über einen Teil seiner Arbeiten soll hier Bericht erstattet werden.

„Bei Behandlung eines so kostbaren und zarten Organs, wie das menschliche Auge es ist, bedarf es unzähliger vorsichtiger Versuche, welche keinerlei heftige Aufregungen verursachen. Sie erfordern sanfteste Behandlung, welche man am besten durch Versuche am eigenen Körper erprobt. Unter anderem war die Behandlung eines Epithelioma mit Radium von bestem Erfolge begleitet, obgleich die Augenhöhle schon durchbohrt, der Augapfel und die Knochenhöhle bereits verletzt waren."

„Das schwere Leiden kam zum Stillstande, und zwar ganz plötzlich und vollkommen. Einfache Einblasungen von radioaktivem Pulver beseitigten die unerträglichen Schmerzen, welche dem Kranken seit 2 Jahren die Nachtruhe gestört hatten. Was dürfte hier wohl die heilende Wirkung des Radiums auf dieses bis dahin absolut unheilbare Leiden gewesen sein, woher rührte diese augenblickliche Linderung? Vorläufig vermögen wir sie noch nicht zu erklären und müssen uns damit begnügen, dieses überraschende Vorkommnis zu registrieren, auch ferner, daß seit 3 Wochen, während der Kranke in Behandlung ist, keine neuen Schmerzen wieder auftraten."

Glücklicherweise sind die Versuche soweit gediehen, daß man von zweckmäßigen heilkräftigen Dosierungen des Radiums

[1]) Darier, La Clinique ophtalmologique. 10. Oktober 1903.

sprechen darf. Auch mit radioaktiven Lösungen darf man die Behandlung innerer Krankheiten unternehmen.

Die hier folgenden Berichte des Dr. A. Darier lassen seine Erfahrungen und Erfolge als sehr beachtenswert erscheinen.

„1. Radium äußerlich angewendet darf als eins der am meisten schmerzstillenden Mittel angesehen werden, mit welchem man Neuralgien, heftige Schmerzen bei rheumatischer Iritis, bei traumatischen Tridocykliten und bei den marternden Schmerzen nichtoperativer Krebsleiden lindern kann.[1])

2. Radiumbestrahlungen bewirken fast augenblicklich eine Aufhellung des Augeninnern, veralteter Bluterguß im Glaskörper verschwand binnen 10 Tagen.

3. Mit Radiumsalben sind sehr gute Heilerfolge bei gewissen Augenlidentzündungen erzielt worden."

Dr. A. Darier hofft, daß es möglich sein wird, durch innerlichen Gebrauch von Radiumsalzen gastrische Leiden und Schmerzen der Eingeweide überhaupt zu lindern, sei es, daß diese nervösen Ursprungs oder durch einfache Geschwüre, oder durch Magen- oder Eingeweidekrebs hervorgerufen waren. Er verspricht sich große Erfolge von Radiumemanationen bei krankhaften Affektionen der Luftröhre und der Lungen.

Dr. Dobrjansky in Petersburg hatte gleichfalls Gelegenheit, die schmerzstillenden Wirkungen bei einem Scheidenkrebs zu beobachten; die Kranke litt so entsetzlich, daß sie genötigt war, große Dosen Morphium zur Linderung anzuwenden. Applikationen von Radium mit Aktivität 7000, in einer kleinen Metallzelle eingeschlossen, unterdrückten die Schmerzen alsbald, so daß der Morphiumgebrauch ausgesetzt werden durfte.

Nach Meinung des Verfassers erscheint Radium von schwacher Aktivität für äußerliche Behandlung sehr wohl geeignet, aber für innerlichen Gebrauch dürfte die giftige Eigenschaft des Baryums, mit dem Radium verbunden ist, nicht außer acht gelassen werden. Mit schwachen Dosen wird man keine üblen

[1]) Anmerk. d. Übersetzers. Bezüglich der Analgesie nach den Bestrahlungen mit Radium stehen noch genauere Untersuchungen aus. Die Beobachtungen, die bisher gemacht wurden, lassen dieselbe zwar wahrscheinlich erscheinen, es ist jedoch sehr zu berücksichtigen, daß Schmerzempfindungen auch auf rein subjektivem Wege stark beeinflußt werden können.

Zufälle zu erwarten haben, trotzdem sollte man überall bei Radiumbehandlungen, gleichgültig nach welcher Methode, stets mit der größten Vorsicht zu Werke gehen.

Wirkungen der Radiumstrahlen aufs Auge.

Röntgenstrahlen scheinen keine Einwirkung aufs gesunde Auge zu haben, weder aufs Augeninnere noch auf die Netzhaut; dagegen hat man solche bemerkt bei Netzhautleiden und allgemeinen Augenentzündungen, welche nur oberflächliche, nicht tiefgehende Entzündungen sind. Nach Versuchen des Dr. Darier scheint Radium einen günstigen Einfluß auf die Wiederherstellung dieses Organs auszuüben. Herr Giesel hat beobachtet, daß Radiumstrahlen das Innere des Auges phosphoreszierend machen; die Netzhaut empfindet einen lichten Schein, wenn man eine Radiumprobe in einer Metallzelle oder Bleihülle auf die Schläfe oder auf das geschlossene Augenlid hält.

Wirkungen der Radiumstrahlen auf Mikroben.

Die von Askinass und W. Caspari in Deutschland ausgeführten Untersuchungen und die von ihnen erzielten Resultate sind von Dr. Danysz[1]) im Institut Pasteur bestätigt worden.

Schon im Jahre 1877 zeigten Doroness und Blunt die bakterientötende Eigenschaft des Lichts, vornehmlich der blauen, violetten und ultravioletten Strahlen. Weitere Untersuchungen in dieser Richtung gingen hervor aus dem Lichtheilverfahren von Dr. Finsen in Kopenhagen und Lortet in Lyon.

Bei ihren Arbeiten über den Micrococcus prodigiosus, welcher bekanntlich lebhaft rot gefärbte, sehr stark riechende und überhaupt sehr charakteristische Kulturen erzeugt, haben Askinass und Caspari 1 g radiumhaltiges Baryumbromid angewendet, welches in einer Messingzelle von 3 cm Durchmesser eingeschlossen war, mit einem Boden aus 0,10 mm dicken Aluminiumblech versehen.

Der Micrococcus wurde in einer Petrischale in Agar-Agar eingesät und diese mit einer Glasscheibe bedeckt. Über diese

[1]) Danysz, Comptes rendus. 16. Februar 1903.

letztere war eine Bleiplatte von 1 cm Dicke gelegt, in deren Mitte sich eine Öffnung von 25 mm Durchmesser befand, hierauf wurde die Aluminiumseite der Radiumzelle gelegt. Die Entwicklung des Micrococcus wurde nicht aufgehalten und verbreitete sich mit ihrer üblichen Schnelligkeit. Die α-Strahlen waren vollkommen durch das Aluminium absorbiert, desgleichen ein Teil der β-Strahlen, von denen nur die sehr durchdringenden und dann die γ-Strahlen wirkten, aber im negativen Sinne.

Das Experiment wurde nunmehr unter anderen Bedingungen wiederholt; die Aluminiumplatte wurde beseitigt, das Agar-Agar wurde ausschließlich in die mittlere Partie gesät und die Petrischale, welche das Ganze enthielt, auf die Radiumzelle gesetzt. Nach Ablauf von 2 — 4 Stunden hatte die Entwicklung der Kultur über dem Radium vollkommen aufgehört, an allen übrigen Stellen setzte sie sich ungestört fort. Hieraus ist ersichtlich, daß die Zwischenstellung eines Aluminiumblattes von 0,10 mm Dicke oder die Vertauschung von Radiumbromid mit Baryumbromid keinen Einfluß auf die Kultur ausübte.

Ein Schirm von 0,001 mm Dicke vermindert die Tätigkeit der Kultur; wenn man aber das Radium über 6 cm entfernt, dann pflanzt sich die Kultur wieder regelmäßig fort.

Dr. Danysz hat eine Kultur von Milzbrandmikroben aufgehalten und zerstört und damit den Beweis geführt, daß die Emanation bei induzierter Radioaktivität eine besonders starke Wirkung hat. Im folgenden sechsten Kapitel soll auch diese Art der Behandlung mit induzierter Radioaktivität besprochen werden.

Man darf nicht annehmen, daß die baktierientötende Eigenschaft der Radiumstrahlen die Heilung von Krankheit veranlaßt, denn nach den angestellten Versuchen verlangt die Tötung der Bazillen so lange Zeit, daß während dieser die Haut schon längst verbrannt sein würde.

Wirkung des Radiums auf Tiere.

Versuche auf diesem Gebiete sind durch Dr. Danysz gemacht worden, indem er ein Röhrchen mit Radium von der Aktivität 500000 verwendete, welches ihm Herr Curie zur Verfügung gestellt hatte. Als Versuchsobjekte dienten ihm

Kaninchen und Meerschweinchen, bei denen er heftige Radiodermatitis erzeugte.

Nach seinen Mitteilungen machte er seine Versuche an beiden Tierarten unter ganz gleichen Bedingungen und fand das Fell der Meerschweinchen sehr viel empfindlicher als das der Kaninchen. Eine Bestrahlung, welche bei Meerschweinchen eine Wunde und einen umfangreichen Haarausfall bewirkte, regte im Gegenteil bei Kaninchen den Haarwuchs an.

Auf Grund dieser Erscheinung läßt sich also annehmen, daß unter Umständen dem Radium auch eine ergänzende und nicht bloß zerstörende Kraft innewohnt.

Dr. Danysz unterzog auch Mäuse einer Bestrahlung von oben vermöge eines mit Radium mittelmäßig starker Aktivität gefüllten Versuchsglases und erhielt Hautausschlag mit Haarausfall und nässender Wunde ohne innere Schädigungen. Mit einer sehr stark aktiven Radiumprobe erhielt er keine äußerlichen Verletzungen, wohl aber zeigten sich die Mäuse wie gelähmt, verfielen in Krämpfe und starben nach 10 Tagen, also eine der durch Röntgenstrahlen erzeugten analoge Wirkung.

Die α-Strahlen werden bereits durch die Luft absorbiert, desgleichen ein Teil der β-Strahlen, also können nur die stark durchdringenden der letzteren und die γ-Strahlen die inneren Schädigungen hervorgerufen haben. Bei Menschen sind bisher keine nervösen Schädigungen durch Radium beobachtet worden, vermutlich weil die Oberhaut sehr stark absorbierend wirkt, während bekanntlich durch Röntgenstrahlen Erbrechen, Zittern, Herzbeklemmungen, Beschränkungen der Empfindung eintreten, individuell teils stärker, teils schwächer.

Unter anderem hat Dr. Danysz eine linksseitige Hemiplegie bei einem erwachsenen trepanierten Kaninchen erzeugt, indem er ein Röhrchen, in welches sehr stark aktives Radium eingeschmolzen war, während 8 Stunden auf die Hirnhaut gelegt hatte. Während der ersten 2 Tage nach der Operation beobachtete man keine Veränderung, die Lähmungserscheinungen traten erst am 3. Tage auf. Analoge Beobachtungen über die Wirkungen von Röntgenstrahlen sind von Kienboeck, Scholtz, Oudin, Barthelémy und Darier gemacht worden.

Das Rückenmark ist bei den niederen Tierarten wenig ge-

schützt, weil sie dünnere Knochen haben und ihre Wirbelsäule unmittelbar unter der Haut liegt.

Dr. Danysz hat auch bemerkt, daß Alter und Leibesgröße der Tiere eine große Rolle bei den Wirkungen des Radiums spielen. So z. B. erleidet eine 1 Monat alte Maus nach 3 Stunden Ohnmacht und vollständige Körperlähmung, wenn man ihr ein Gläschen von 3 cm Länge und 1,5 mm Dicke, welches 1 cg sehr stark aktiven Radiums enthält, unter die Haut an der Hirnschale und der Länge nach an die Wirbelsäule anlegt. Nach 7 bis 8 Stunden entstehen Starrkrämpfe, welche die Maus in 12 bis 18 Stunden töten. Gleichaltrige Mäuse konnten leere derartige Gläser ohne besondere Unbequemlichkeiten tragen; 3 bis 4 Monate alte Mäuse sterben ebenfalls nach 3 bis 4 Tagen, 1 Jahr alte nach 6 bis 10 Tagen.

Drei 8 bis 12 Tage alte Meerschweinchen hatten während 24 bis 48 Stunden die nämlichen Röhrchen unter der Haut in der Lendenpartie nahe der Wirbelsäule getragen und nach 1 bis 3 Tagen war ihr ganzes Hinterteil gelähmt, die Tierchen konnten die Pfoten kaum bewegen und starben wie die Mäuse nach 8 bis 10 Tagen unter Starrkrämpfen wie bei Vergiftungen.

Bei erwachsenen Meerschweinen und Kaninchen ließen sich nicht unmittelbare Gesundheitsstörungen nachweisen, dennoch unterlagen sie nach einigen Wochen oder Monaten unter Infektionserscheinungen, welche sich durch Geschwüre bemerkbar machten. Dr. Danysz ließ während 3 bis 4 Monaten ein Radium enthaltendes Versuchsgläschen in der Bauchhöhle eines Meerschweins und konnte keine Verletzung konstatieren. Auch Larven von Insekten, vornehmlich Mehlwürmer (Epertia Kuehniella), unterzog er während 24 Stunden einer Radiumbestrahlung, wodurch die Bewegungsfähigkeit dieser Larven sich verminderte und nach 2 bis 3 Tagen ihr Tod eintrat, vermutlich infolge Zerstörung ihres Nervensystems.

Einfluß der Radiumstrahlen auf das Wachstum der Tiere.

G. Bohn hat dieses Studium angefangen und seine Versuche an Fröschen und Kröten gemacht. Er fand, daß alle diese Individuen, welche die Radiumbestrahlungen über-

lebten, Veränderungen in ihrer Körperbeschaffenheit erfuhren, die einen sofort, die andern nach einigen Tagen, und dies zeigte sich auch bei der Entwicklung der Tiere aus ihren Larven.

In Summa: die Becquerelstrahlen wirken auf das Wachstum der tierischen Hautgewebe und ihres Organismus. Wenn ihr Wachstum langsam vor sich geht, ist damit eine Verminderung der Körpergröße verbunden; geht es schnell vor sich oder sind die Tiere erwachsen, so wird nur die Haut zerstört, je nach deren Beschaffenheit und nach dem Körperteil.

Wenn die Radiumstrahlen den Körper eines Tieres während einiger Tage durchdringen, veranlassen sie die Gewebe neue Eigenschaften anzunehmen, welche längere Zeit im latenten Zustande verbleiben können, um sich plötzlich zu normaler Tätigkeit zu entwickeln.

Zum Schluß dieser Versuche mag noch darauf hingewiesen werden, daß Radium auch auf Blätter von Pflanzen einwirkt, sie vertrocknen und färben sich gelb (Giesel).

Sechstes Kapitel.

Induzierte Radioaktivität.

Induzierte Radioaktivität in freier Luft.

Herr und Frau Curie[1]) haben die Beobachtung gemacht, daß alle in der Nähe von Radium befindliche Substanzen selbst radioaktiv werden und diese Eigenschaft mehrere Stunden behalten, auch nachdem das Radium wieder entfernt worden ist.

Dieser Zustand wird induzierte Radioaktivität genannt. Sie wächst mit der Dauer der Bestrahlung zu einem gewissen Grenzwert: das ist die Periode der Aktivation; wenn danach das Radium entfernt worden ist, so nimmt die induzierte Radioaktivität während der ersten Minuten sehr stark ab, später langsamer, indem sie einem asymptotischen Gesetz folgt, und wird schließlich gleich Null: das ist die Periode der Desaktivation.

Die induzierte Radioaktivität verursacht in allen Laboratorien, in denen stark radioaktive Substanzen studiert werden, große Störungen. Der Staub, die Luft des Zimmers, in dem man mit Radium arbeitet, alle Apparate, die Kleidung der damit beschäftigten Personen werden allmählich radioaktiv. Die Luft wird leitend gemacht, so daß die Isolierung elektrischer Apparate zur Unmöglichkeit wird.

Das Laboratorium, welches das Ehepaar Curie in der Schule für Physik und Chemie in Paris zu ihren Studien benutzte ist zur Zeit in diesem Zustande. Man muß sich hüten, chmische Untersuchungen und physikalische Messungen in ein und demselben Lokale anzustellen und darf physikalische Apparate nicht in die Nähe von Radium und radioaktiven Substanzen bringen.

[1]) Curie, Comptes rendus. **129**. Nov. 1899. S. 714.

Wenn man Metallplatten der Einwirkung von Radium aussetzt, so wirken diese in gleicher Weise; die Natur des Metalls scheint hierauf keinen Einfluß zu haben, wenigstens hat sich dies bei Zink, Messing, Wismut, Aluminium und Blei gezeigt; Glas und Papier verhalten sich wie Metalle.

Um das Gesetz der Desaktivierung durch eine Kurve zu veranschaulichen, möge eine zuvor aktivierte Zinkplatte von 8 cm Durchmesser in eine Entfernung von 3 cm über eine Lage Baryumchlorid von der Aktivität 2000 gebracht werden, welche

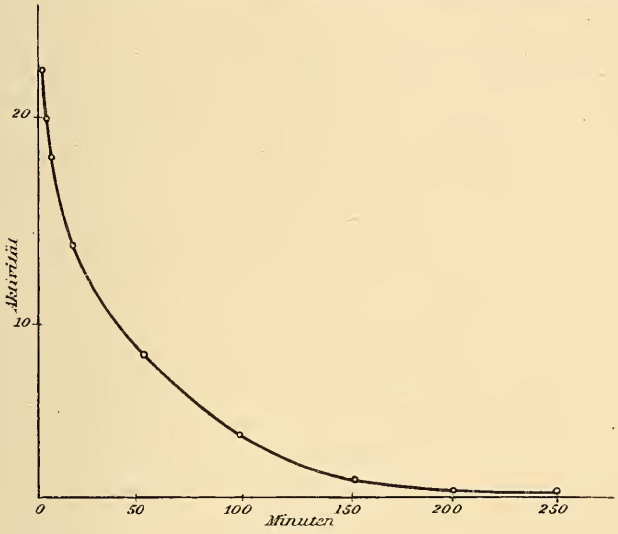


Fig. 18.

eine Oberfläche von 4 cm Durchmesser hat; dann ist die induzierte Aktivität 20. Nachdem man das Radium entfernt hat, beginnt die induzierte Radioaktivität abzunehmen, nach 2 Stunden beträgt sie nur noch den 8. Teil der anfänglichen Aktivität.

Unter diesen Voraussetzungen bezeichnet man die Aktivitäten als Ordinate, die Zeit als Abszisse und erhält dann eine Kurve (vgl. Fig. 18), deren Entstehungsgesetz sich durch folgende Exponentialgleichung ausdrücken läßt.[1])

$$I = I_0 \left[a \cdot e^{-t/\Theta_1} - (a - 1)\, e^{-t/\Theta_2}\right]$$

[1]) Curie u. Danne, Comptes rendus. 9. Febr. 1903.

In dieser Gleichung bedeutet:

I_0 die Intensität der Strahlungen in dem Augenblick, wo das Radium entfernt wird;

I diese Intensität in der Zeit t;

a ein durch Versuche festgestellter Zahlenwert $a = 4{,}20$;

Θ_1 und Θ_2 sind Konstanten der Zeit, welche gleichfalls durch Versuche festgestellt sind, $\Theta_1 = 2420$ Sekunden, $\Theta_2 = 1860$ Sekunden.

Nach Ablauf von 2 bis 3 Stunden hat der zweite Exponentialfaktor keinen Einfluß mehr auf den Wert von I und die Kurve verläuft als Asymptote. Die Aktivität vermindert sich in 28 Minuten um die Hälfte.

Gewisse Körper, wie Celluloid, Paraffin, Kautschuk usw., sofern sie lange genug aktiviert waren, desaktivieren sich langsamer, als das Gesetz vorschreibt. Zuweilen verschwindet die Aktivität erst nach 15 bis 20 Tagen; es scheint, daß diese Körper sich stärker mit Aktivität imprägnieren lassen.

Das Curiesche Ehepaar stellt folgende Bedingungen für das Phänomen auf:

1. Die Aktivität einer Platte, welche der Einwirkung von Radium ausgesetzt war, wächst mit der Länge der Bestrahlungszeit, und nähert sich asymptotisch einem gewissen Grenzwert.

2. Die Aktivität einer Platte, welche der Einwirkung von Radium ausgesetzt war, verschwindet nach einigen Tagen, nachdem die Einwirkung aufgehört hat. Der Abfall der induzierten Aktivität ist eine Funktion der Zeit und nähert sich asymptotisch dem Grenzwerte Null.

3. Unter sonst gleichen Bedingungen ist die induzierte Radioaktivität, welche von ein und demselben radioaktiven Salz auf verschiedene Platten übertragen war, von der Natur der Platten unabhängig.

4. Die induzierte Radioaktivität, welche in ein und dieselbe Platte durch verschiedene radioaktive Substanzen induziert war, erreicht einen um so höheren Grenzwert, je stärker aktiv diese Substanz war.

Übrigens wirken manche Präparate stärker als andere, so z. B. Radiumchlorid stärker als Radiumkarbonat.

Um das Phänomen der induzierten Radioaktivität zu erklären, hat man angenommen, daß diese durch Übertragung

von aktiver Materie auf die benachbarten Körper, sei es durch Staub, sei es durch Dünste bewirkt wird. Dies ist aber eine unrichtige Voraussetzung, welche keine Erklärung für regelmäßige Desaktivierung zuläßt. Dazu kommt, daß, wenn man eine Lösung von radioaktivem Baryumchlorid als aktive Substanz zur Aktivierung verwendet, die induzierte Aktivität nicht verschwindet, weder durch Waschungen, noch durch Erhitzung, sogar bei Rotglut.

Anfänglich gelang es nicht, die Wirkung zu bestimmen, welche ein elektrisches Feld auf solche Körper ausübte, die durch Radium in induzierte Aktivität versetzt waren. Da zeigte Rutherford[1]), daß mit dem nachstehend erwähnten Experiment alle mit negativer Elektrizität geladenen Körper sich durch Thorium energischer aktivieren als andere. Ein Platindraht, welcher auf ein Potential von 500 Volt gebracht ist, befindet sich in der Nähe von Thorium, welches mit der Erde in Verbindung steht. Die induzierte Radioaktivität sammelt sich in dem Draht und wenn man diesen mit Schwefelsäure behandelt und die gewonnene Lösung abdampft, so erhält man einen viel stärker aktiven Rückstand als das Thorium allein.

Rutherford entdeckte auch, daß die Luft, welche über Thoriumoxyd gestrichen war, 10 Minuten lang merkliche Leitungsfähigkeit bewahrte. Um diese Erscheinung zu erklären, nimmt er an, daß das Thoriumoxyd eine radioaktive Emanation aussendet, die positiv geladen und durch einen Luftstrom fortgeführt worden ist; diese soll die induzierte Radioaktivität sein. Die Rutherfordschen Versuche wiederholte Dorn[2]) mit radiumhaltigen Baryumsalzen.

Debierne[3]) rief mit Aktinium eine sehr starke induzierte Radioaktivität hervor, welche sich aber durch einen Luftstrom zum Teil wegführen läßt, wie beim Thorium.

Aus dem vorhergehenden ist bekannt, daß aktivierte Körper ihre Aktivität in 28 Minuten zur Hälfte verlieren, die durch Aktinium aktivierten verlieren sie erst in 36 Minuten; die durchThorium induzierte Aktivität fällt erst in 11 Stunden zur Hälfte ab.

[1]) Rutherford, Phil. mag. Jan. u. Febr. 1900.
[2]) Dorn, Abhandl. d. Naturforsch. Gesellsch. Halle, Juni 1900.
[3]) Debierne, Comptes rendus. 30. Juli 1900; 16. Februar 1903.

Induzierte Radioaktivität aus anderen Ursachen.

Die Versuche von Villard[1]) mit einer Wismutplatte, welche als Antikathode in einer Röntgenröhre gedient hatte, zeigten das Metall nur wenig aktiviert, und zwar so schwach, daß eine Bestrahlung von 8 Tagen kaum hinreichte, um eine photographische Einwirkung damit zu erzielen.

Mac Lennan[2]) setzte Salze der Bestrahlung mit Kathodenstrahlen aus und erwärmte sie darauf leicht. Er erzeugte damit in ihnen die Eigenschaft, positiv elektrisch geladene Körper zu entladen.

Nach diesen Vorgängen scheint es fast, als ob die ballistische Hypothese von Crookes und J. J. Thomson sich mit derjenigen von Rutherford vermengte. Diese Idee näher zu erläutern, findet sich im achten Kapitel Gelegenheit.

Induzierte Radioaktivität in geschlossenen Gefäßen.

Durch Herrn Curie und Debierne[3]) ist bewiesen worden, daß die Erscheinungen der induzierten Radioaktivität in freier Luft, weil diese in Bewegung ist, unregelmäßig sind, während sie in geschlossenen Gefäßen vollkommen regelmäßig vor sich gehen.

Sie machten ihre Versuche mit dem nachstehenden Apparat. Der aktive Stoff befindet sich in einem offenen Glasgefäß *a*, mit einer Öffnung *o*, welches umgeben von den Platten *A B C D E*, in einem Kasten eingeschlossen ist. Die Platten bestanden aus Blei, Kupfer, Aluminium, Glas, Ebonit, Wachs, Karton und Paraffin, und man stellte fest, daß bei gleicher Dimension der Platten die induzierte Radioaktivität unabhängig von der Natur der letzteren war.

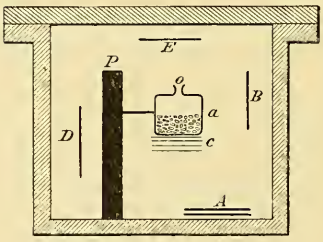


Fig. 19.

Die Geschwindigkeit der Aktivierung von Stoffen, welche in einem Gefäß eingeschlossen sind, hängt von der Größe des

[1]) Villard, Societé de Physique. Juli 1900.
[2]) Mac Lennan, Phil. Mag. Februar 1902.
[3]) Curie u. Debierne, Comptes rendus. 4. März 1901.

Abstandes der Stoffe unter sich ab. Wenn man z. B. Kupferplatten bei einem Abstand von 1 mm bestrahlt, so geht die Aktivierung langsam vor sich, nimmt man aber 3 cm Abstand, so vollzieht sie sich schnell. Die Geschwindigkeit ist der Größe des Abstandes zwischen den aktivierenden Platten und der Strahlungsquelle proportional. Schließt man die Öffnung *o* des Glasgefäßes, so erlangt man keine induzierte Aktivität. Die Radiumstrahlung wirkt übrigens nicht direkt, denn die Platte *D* (vgl. Fig. 19), obgleich durch den dicken Bleischirm *P P* geschützt, empfängt gleich starke Aktivität wie die Platten *A* und *E*

Die Radioaktivität pflanzt sich in der Luft allmählich von dem strahlenden Stoff nach dem zu aktivierenden von Punkt zu Punkt fort. Sogar durch Kapillarröhren, wenn auch langsam.

Die Stoffe aktivieren sich fortwährend um so schneller, je kleiner das einschließende Gefäß ist und trachten danach, einen Grenzwert anzunehmen, wie bei dem Sättigungsphänomen. Dieser Grenzwert ist um so größer, als der wirkende Stoffe stärker aktiv ist.

Manche Stoffe werden leuchtend, sobald man sie in ein Aktivierungsgefäß bringt (phosphorescierende oder fluorescierende Stoffe, Glas, Papier, Baumwolle, Wasser, Salzlösungen). Wendet man eine wässerige Lösung von Radium an, so erhält man sehr starke und regelmäßige Effekte von Radioaktivität; die induzierte Radioaktivität, welche ihren Grenzwert erreicht, hängt von der Menge des in Lösung befindlichen Radiums ab und scheint dieser proportional zu sein. Die Kraft der Aktivation ist also nicht analog der Dampfspannung.

Die in einem Gefäß mit radioaktivem Stoffe oder Lösungen eingeschlossenen Gase werden radioaktiv. Diese induzierte Aktivität bleibt bestehen, wenn man die Gase absaugt und sie in einem Reagensglase sammelt.

Im übrigen ist der Grenzwert der induzierten Radioaktivität unabhängig von der Natur des Gases und dessen Gasdruck, welches sich im Gefäß befindet. Die Wände des Reagensglases, welche das gesammelte Gas einschließen, werden radioaktiv und leuchten. Diese Aktivität und Luminescenz verschwindet allmählich, bleibt aber mindestens einen Monat lang bestehen.

Die radioaktive Energie ist also in einer besonderen Form in dem Gase vorhanden; Rutherford setzt, wie gesagt, voraus, daß radioaktive Stoffe eine Emanation oder einen gasförmigen Körper aussenden, welcher die Radioaktivität fortträgt. Neuerdings haben Lady Huggins und Sir William Huggins der Royal Society in London bekannt gegeben, daß Radium durch atomistischen Zerfall Helium erzeugt; dieses Gas, leichter als Wasserstoffgas, befindet sich im Überfluß auf der Sonne, ist aber auf der Erde sehr wenig verbreitet, wo man es nur an Argon gebunden in verschiedenen Mineralquellen antrifft. Das Spektrum des Radiums enthält 12 charakteristische Linien, unter denen es 5 mit dem Helium gemeinsam hat.

Bei Beginn ihrer Arbeiten haben Herr und Frau Curie bemerkt, daß Pechblende, im luftleeren Raume erhitzt, stark aktive Sublimationsprodukte lieferte, allerdings in sehr kleinen Mengen. Sammelt man die Sublimationsgase in einem Glase, so wirken diese radioaktiv. Man kann photographische Bilder und Jonisationserscheinungen der Luft damit hervorrufen. Diese Aktivität fällt nach einiger Zeit ab und verschwindet endlich. Bei der Spektralanalyse zeigt das Gas die Linien von Kohlenoxydgas; die Pechblende schließt Helium und Argon in sich. Man darf mit Sicherheit annehmen, daß Radium beim Zerfall sich in Helium umwandelt und daß letzteres die radioaktiven Erscheinungen veranlaßt.

Induzierte Radioaktivität, welche durch Lösung eines Radiumsalzes hervorgerufen worden ist, ist besonders intensiv und regelmäßig. Zinksulfid, in eine aktive Umhüllung gebracht, leuchtet hell auf; indes ist seine induzierte Radioaktivität nicht stärker als diejenige anderer Körper, welche in gleicher Weise behandelt werden. Der hier abgebildete Apparat Fig. 20 soll dazu dienen, diese Versuche zu veranschaulichen. In dem linken Rezipienten befindet sich die Radiumlösung, in dem rechten das Zinksulfid. Die Luminescenz des Zinksulfids

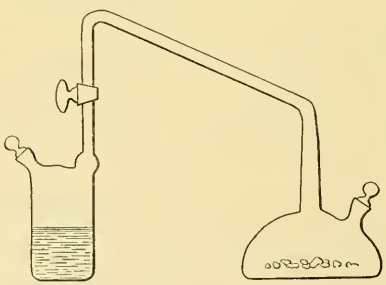


Fig. 20.

bleibt mehrere Tage bestehen, auch nachdem man die Verbindung zwischen den beiden Rezipienten geschlossen hat.

Dieser Apparat dürfte mit geringer Abänderung sehr wohl zur Nutzbarmachung induzierter Radioaktivität für Heilzwecke verwendbar sein, wenn er folgenderweise gestaltet wäre (vgl. Fig. 21).

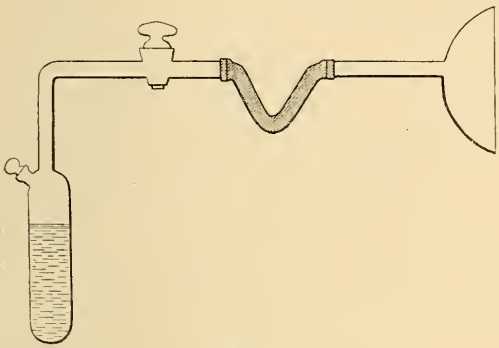


Fig. 21.

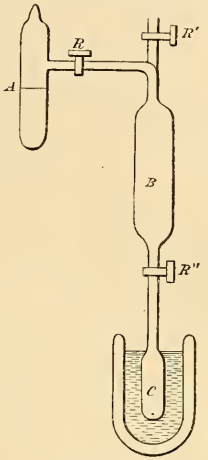


Fig. 22.

Ein Ballon, welcher Radiumlösung enthält, ist durch Gummischlauch mit einem Trichter verbunden, welchen letzteren man auf die kranke Stelle halten kann. Man könnte den nämlichen Apparat auch zu Inhalationen benutzen.

Rutherford hat gezeigt, daß sich die Radiumemanationen durch flüssige Luft verdichten lassen. Dieses sehr schöne Experiment führte Herr Curie seinerzeit dem Königl. Institut von London und am 3. Juli 1903 der Physikalischen Gesellschaft in Paris vor. Der von ihm benutzte Apparat war obenstehender (vgl. Fig. 22).

Eine Radiumlösung befindet sich in dem Glasgefäß *A*, die darüber befindliche Luft sättigt sich mit Emanationen; mit dem Gefäß *A* sind zwei andere Gefäße *B* und *C* verbunden, deren Wandungen mit phosphoreszierendem Zinksulfid bedeckt sind. Bei geschlossenem Hahn *R* evakuiert man nach Öffnen des Hahnes *R'* und *R''* die beiden Gefäße und läßt nach Schließen des Hahnes *R'* die aktivierte Luft aus *A* in die luftleeren Gefäße *B* und *C* einsaugen. Sofort beginnt das Zinksulfid

unter der Wirkung der Emanation zu leuchten. Wenn man darauf das Gefäß C, während R und R' geschlossen sind, in flüssige Luft taucht, so verdichtet sich die Emanation in B und C und nach Ablauf von 30 Minuten ist aus B alle Lumineszenz verschwunden. Zieht man darauf C aus der flüssigen Luft zurück, nachdem man zuvor den Hahn R'' geschlossen hat, und erwärmt das Gefäß, so macht sich bei diesem wieder Luminescenz bemerkbar, und indem man den Hahn R'' öffnet, fängt auch B wieder zu leuchten an.

Induzierte permanente Radioaktivität.

Noch eine zweite Form induzierter Radioaktivität hat man beobachtet, welche solche Stoffe annehmen, die mehrere Monate lang in einem aktivierenden Gefäß verblieben waren. Entfernt man die Stoffe aus dem Gefäß, so fällt ihre Aktivität schnell ab, wie in allen anderen Fällen; wenn aber ihre Aktivität von dem Grenzwerte nur noch 20000 beträgt, dann geht auch der Abfall nur noch sehr langsam vor sich, sonderbarer Weise vermehrt sie sich sogar mitunter. Herr und Frau Curie besitzen Platten, welche ihre induzierte Radioaktivität schon über 6 Monate bewahren. Dieser Vorgang erinnert an remanenten Magnetismus.

Desaktivierung in geschlossenem Gefäß.

Geschlossene, durch Radium aktivierte Gefäße desaktivieren sich nach Entziehung der aktivierenden Kraft nach einem viel langsameren Gesetz, wie dieses in freier Luft nachgewiesen war.

Man kann z. B. eine Glasröhre lange Zeit aktiv erhalten, wenn man diese mit einem Gefäß, welches eine Radiumlösung enthält, in Verbindung gebracht hatte. Die leuchtend gemachte Glasröhre bewahrt ihre Luminescenz während mehrerer Monate; dasselbe ereignet sich mit einem Glasgefäß, welches Zinksulfid enthält, und dieses liefert gleichzeitig ein schönes Beispiel von kaltem Licht.

Das Gesetz der Desaktivierung läßt sich gleichfalls durch eine Exponentialgleichung sehr genau ausdrücken:

$$I = I_0 \cdot e^{t/\Theta},$$

in welcher bedeutet

I Intensität der Strahlung in der Zeit t;
I_0 Anfangsintensität;
Θ Konstante der Zeit, gleich $4{,}970 \cdot 10^5$ Sekunden;
$I = \frac{I_0}{2}$, d. h. die Intensität der Strahlung sinkt in 4 Tagen um die Hälfte.

Dieses Gesetz ist völlig konstant, es hängt weder von der Größe des Gefäßes, noch von der Natur seiner Wände ab, noch vom Gas, noch von der Dauer der Aktivierung, auch von Temperaturen zwischen -180^0 und $+450^0$ wird es nicht beeinflußt.

Man könnte sich dieses Gesetzes bedienen, um ein völlig unabhängiges Zeitmaß zu definieren. Macht man das Gefäß luftleer oder ersetzt man die im Gefäß enthaltene Luft durch nichtaktivierte, so gewinnt das Gesetz der Desaktivierung in freier Luft wieder seine Geltung und die Aktivität ist in 28 Minuten auf die Hälfte gesunken. Hier scheint also eine Emanation vorzuliegen, welche die radioaktive Energie im Gase anhäuft. Für eine Aktivation durch Thorium beträgt der Abfall in 1 Minute 10 Sekunden die Hälfte. Mit Aktinium ist der Abfall noch größer, indem sie schon nach wenigen Sekunden auf die Hälfte gesunken ist.

Radioaktives Wasser. Herr Curie und Debierne haben radioaktives Wasser auf zweierlei Weise dargestellt:

1. indem sie Wasser, welches Radiumchlorid enthielt, destillierten, und
2. indem sie destilliertes Wasser in einem geschlossenen Gefäß durch Radium aktivierten.

Solche radioaktive Wasser möchten in der Heilkunde verwendbar sein, sei es zu Waschungen, sei es zu Einspritzungen; Versuche dieser Art sind bereits durch Dr. A. Darier ins Werk gesetzt.

Die aus ihrem Verschluß entnommene Flüssigkeit desaktiviert sich an freier Luft sehr schnell, indem sie ihre Aktivität an benachbarte feste Körper oder Gase abgibt. Bringt man die aktivierte Flüssigkeit in ein anderes verschlossenes Glas, so fällt die Aktivität in 4 Tagen um die Hälfte, wie

beim aktivierten Gas in geschlossenem Gefäß. Die Emanation scheint in der Flüssigkeit gewissermaßen aufgelöst, für welche Annahme folgender charakteristischer Versuch spricht: wenn man eine durch Radiumlösung aktivierte und phosphorescierende Glasröhre in Wasser stellt, so bleibt nur der aus dem Wasser herausstehende Teil phosphorescierend. Dreht man das Rohr um, so beginnt das Wasser zu phosphorescieren, während der obere Teil des Rohres nicht mehr leuchtet; nach und nach verliert das Wasser seine Luminescenz und am Glasrohr erscheint sie wieder.

Sobald Gleichgewicht in einem geschlossenen Gefäß vorhanden ist, besitzt das darin befindliche Wasser gleich starke Aktivität wie die radioaktive aktivierende Lösung. Entfernt man die Radiumlösung aus dem geschlossenen Gefäß und läßt sie an freier Luft stehen, so zerstreut sich die Aktivität in die umgebende Luft und die Lösung wird fast inaktiv. Bringt man aber diese scheinbar inaktiv gewordene Lösung wieder in eine verschlossene Flasche, so gewinnt sie nach Ablauf von 14 Tagen ihre vollständige Aktivität wieder.

Wilson hat der Philosophischen Gesellschaft in Cambridge am 5. Mai 1902 eine Mitteilung über Versuche gemacht, welche er mit frischgefallenem Regen angestellt hat. Dieser in einem Gefäß gesammelt und darauf bis zur Trockene eingedampft, zeigte sich radioaktiv. Später berichtete S. J. Allen an die Amerikanische Physikalische Gesellschaft über radioaktiven Schnee. Die im Schnee gefundene Radioaktivität fiel in 28 Minuten auf die Hälfte und die Strahlung bestand in leicht absorbierbaren Strahlen. Diese Wirkungen sind noch nicht vollkommen aufgeklärt, unmöglich wäre es aber nicht, daß sie mit den elektrischen Erscheinungen der Atmosphäre im Zusammenhang stehen.

Übertragung der Radioaktivität auf einen in Radiumlösung befindlichen Stoff.

Bei der Gewinnung des Radiums aus Pechblende unterzieht man diese mehrfachen chemischen Operationen, um einesteils aktive, andernteils nichtaktive Produkte zu gewinnen. Manche in der Pechblende enthaltene Stoffe, wie Kupfer, Antimon, Arsen sind absolut inaktiv, wohingegen Eisen und Blei immer eine gewisse Aktivität im Laufe der Behandlung bewahren.

Giesel [1]) hat nichtaktives Wismut dadurch aktiv gemacht, daß er es mit einer Lösung von Radiumsalz behandelte, und ist der Meinung, daß Polonium, weil es sich nicht von Wismut trennen läßt, solches aktiv gemachtes Metall sei. Frau Curie entkräftigt diese Annahme durch ihre sehr sorgfältigen Untersuchungen, nach welchen aktiviertes Wismut seine Aktivität nach und nach einbüßt, während ihre Poloniumproben ihre Aktivität 150 seit 3 Jahren behalten haben. Auch Blei und Silber hat Frau Curie aktiviert, aber die Aktivität fällt mit der Zeit ab, und verschwindet gänzlich bei chemischen Umwandlungen; sie charakterisiert sich also nicht als atomistische Eigenschaft wie bei den radioaktiven Stoffen.

Debierne [2]) hat sehr starke Radioaktivitäten mit Lösungen von Aktiniumsalzen erzeugt. Er erhielt z. B. sehr stark aktivierte Baryumsalze, indem er diese mit Lösungen von Aktiniumsalzen behandelte und Aktinium daraus extrahierte. Auch zeigte er, daß aktiviertes Baryum zum Teil, aber auch nur zum Teil die Eigenschaften von Radium besitze. Es bewahrt seine Aktivität während chemischer Umwandlungen, sodaß diese eine atomistische Eigenschaft bleibt, es läßt sich in der nämlichen Weise fraktionieren wie Radium, da die am stärksten radioaktiven Teile am wenigsten in verdünnter Schwefelsäure löslich sind. Das aktivierte Baryumchlorid ist in trockenem Zustande luminös, es erregt Fluorescenz bei Zinksulfid, und seine Strahlungen sind durch ein magnetisches Feld zum Teil ablenkbar. In allen diesen Punkten besteht eine Ähnlichkeit mit Radium, aber aktiviertes Baryum besitzt nicht das Spektrum des Radiums und seine Aktivität fällt mit der Zeit ab. Aktiviertes Baryum ist ein Zwischending zwischen inaktivem Baryum und Radium.

Theorie der induzierten Radioaktivität nach Curie und Debierne. [3])

Diese Theorie ist unabhängig von allen Hypothesen über den Ursprung der Energie, sie betrachtet ein Radiumatom lediglich als eine dauernd sich gleichbleibende Kraftquelle.

---

[1]) Giesel, Physikal. Gesellsch. Berlin. Januar 1900.
[2]) Debierne, Comptes rendus **131**. S. 333.
[3]) Curie und Debierne, Comptes rendus. 29. Juli 1901.

Wenn man ein Radiumatom einer Messung unterzieht, so sieht man, das es in einem gegebenen Moment eine gewisse potentielle Energie oder eine bestimmte Intensität besitzt; während die Energie sich fortgesetzt betätigt, stellt sich Gleichgewicht durch Verlust her, der sich in zweierlei Weise bemerkbar macht:

1. durch Strahlung (ablenkbare und nicht ablenkbare Strahlen);

2. durch Leitung oder Emanation, indem diese feste Körper nicht durchdringt und Radioaktivität erzeugt.

Diese Erscheinungen lassen sich sehr wohl mit denen vergleichen, welche ein erhitzter Körper zeigt; seine Temperatur steigert sich, bis Gleichgewicht infolge der Verluste durch Leitung oder durch Strahlung eintritt. Denn:

1. Die Radiumsalze verlieren durch Leitung nur sehr wenig an Aktivität, weil sich diese Erscheinung an der Oberfläche und nicht durch die ganze Masse vollzieht, es zeigt sich starke Strahlung, aber schwache Induktion von Radioaktivität. Bei Auflösung von radioaktiven Salzen in Wasser verteilt sich die Energie zwischen Wasser und Salz, destilliert man aber dieses Wasser, so wird es sehr aktiv, während das Salz 10 bis 15mal weniger aktiv ist, als vor seiner Auflösung. Nach und nach gewinnt das Salz seine frühere Aktivität wieder, der Verlust ist durch Strahlung verursacht.

2. Wenn eine Radiumlösung in einer zugeschmolzenen Glasröhre sich befindet, so tritt selbständige Strahlung ein und die Radiaoktivität der Lösung steigert ihren Grenzwert, indem sie sich verdichtet. Wenn im Gegenteil die Lösung sich in einem offenen Glase befindet, so wirken beide Zustände, Strahlung und Verdichtung gemeinsam und die Radioaktivität der Lösung nimmt sehr schnell ab.

Man kann diese Frage noch weiter verfolgen, indem man das Radiumatom als eine dauernde und konstante Emanationsquelle betrachtet, d. h. eine Energieform, die sich in radioaktive Strahlungsenergie umsetzt. Der Anprall von Emanationen an die sie einschließenden Wände oder an solide Körper verursacht Becquerelstrahlen. In Salzen vollzieht sich die Umsetzung in diesen selber, die Strahlungen haben einen

hohen Grenzwert. Diese Theorie läßt sich ebenso auf Radium, Thorium und Aktinium anwenden, welche alle drei Emanationen aussenden; von Polonium und Uranium, bei welchen sich die Eigenschaft der induzierten Radioaktivität nicht nachweisen läßt, darf man annehmen, daß deren Emanationen mit allzugroßer Geschwindigkeit sich selber zerstören. Und diese Annahme stützt sich mit einigem Recht auf die Vorgänge bei den Emanationen des Thoriums, welche 5000mal schneller verschwinden als die des Radiums. Uranium und Polonium büßen ihre Energie nur durch Strahlung ein.

Siebentes Kapitel.

Änderungen der Aktivität der Radiumsalze.

Einfluß der Auflösung. Polonium vermindert, wie gesagt, mit der Zeit seine Aktivität; bei einer Probe von Wismut-Poloniumnitrat war der Abfall der Aktivität in 11 Monaten auf die Hälfte und in 33 Monaten um 97 % gesunken.

Demgegenüber besitzen die Radiumsalze eine permanente Radioaktivität, welche einer kaum merklichen Verminderung unterworfen zu sein scheint; wobei allerdings nicht vergessen werden darf, daß erst eine fünfjährige Beobachtungszeit hinter uns liegt. Unmittelbar nach seiner Herstellung besitzt festes Radiumsalz nur eine geringe Aktivität gegenüber derjenigen nach Ablauf eines Monats; anderseits verliert eine Radiumlösung, die in freier Luft bleibt, nach und nach ihre Aktivität und kann unter Umständen bedeutenden Abfall erleiden. Giesel [1]) hat über diese Veränderungen eingehende Studien gemacht.

Die nachfolgenden Zahlen sind Ergebnisse von Versuchen, welche Frau Curie über denselben Gegenstand angestellt hat.

1. Die Aktivität einer Lösung von radiumhaltigem Baryumchlorid, 2 Tage lang an freier Luft belassen, nimmt eine 300 mal stärkere Aktivität an, als sie im frisch hergestellten Zustande besitzt.

2. Die Aktivität einer Radiumlösung, 2 Tage lang an freier Luft belassen, verhält sich folgendermaßen:

Aktivität zu Anfang	67
„ nach 2 Stunden . . .	20
„ nach 2 Tagen	0,25

[1]) Giesel, Wied. Ann. **69**. S. 91.

3. Eine Lösung, welche ihre Aktivität an freier Luft verloren hatte, erlangte, in ein Gefäß eingeschlossen, folgende Vermehrung ihrer Aktivität:

Aktivität zu Anfang	27	
„ nach 2 Tagen	61	
„ nach 3 Tagen	70	
„ nach 4 Tagen	81	
„ nach 8 Tagen	100	(Zustand des Gleichgewichts.)

4. Wenn ein Salz längere Zeit in Lösung gewesen ist, wird seine Aktivität nach Überführung in festen Zustand um so viel schwächer ausfallen, als der Zustand der Lösung länger gedauert hat. Ein Teil der Aktivität ist auf das Lösungsmittel übergegangen.

5. Folgende Zahlen stellen die Veränderungen eines vor längerer Zeit hergestellten Chlorides dar, dessen Endaktivität unverändert geblieben war.

Endaktivität	800
Anfangsaktivität nach Lösung und sofortiger Trocknung	440
Aktivität nach Lösung und Trocknung nach 5 Tagen	120
Aktivität nach Lösung und Trocknung nach 32 Tagen	114

Frau Curie hat in zugeschmolzenen Glasröhrchen 13 Monate lang zwei Lösungen aufbewahrt, von denen die eine 8 mal mehr Lösungsmittel enthielt als die andere:

Anfangsaktivität des trockenen Salzes aus der konzentrierten Lösung	200
Anfangsaktivität des trockenen Salzes aus der verdünnten Lösung	100

Diese Tatsachen lassen sich folgendermaßen erklären: jemehr die Lösung verdünnt ist, desto mehr Radioaktivität geht durch das Lösungsmittel verloren. Die beiden Salze hatten getrocknet ihre Endaktivität in derselben Zeit, und zwar in einem Tage, wiedererlangt.

Aus den Darlegungen des vorigen Kapitels ging hervor, daß die radioaktive Energie in der Form von Emanationen sich schwer von festen Salzen auf Gase oder Flüssigkeiten übertragen läßt. Luftleerer Raum zieht alle Emanationen an sich, aber er vermindert die Radioaktivität eines Salzes nicht. Die wirkliche Anfangsaktivität eines Radiumsalzes läßt sich schwer bestimmen, denn wenn man das Präparat trocknet, so kommt ein Moment, in dem es schwer wird zu entscheiden, ob man es noch mit einer Flüssigkeit oder mit einem festen Körper zu tun hat; dazu kommt, daß man weiter erhitzen muß, und Wärme verflüchtigt die Aktivität, wie wir sogleich erfahren werden.

Die Verschiedenheiten der Aktivität für eine ganze Reihe von Salzen von der Anfangsaktivität 21, gelöst in gleichen Mengen Wasser und getrocknet bei 120° bis 130°, sind durch folgende Zahlenreihen ausgedrückt:

Zeit in Tagen	1	3	5	10	19	33	67
Aktivitäten	25	44	60	78	93	100	100

Die Endaktivität war nach 33 Tagen erreicht; hieraus ersieht man, daß diese etwa 4 mal so groß ist als die Anfangsaktivität. An anderer Stelle hat übrigens Frau Curie darauf hingewiesen, daß die Auflösung von Radiumsalzen vornehmlich die durchdringenden Strahlen fortnimmt.

Einfluß der Wärme. Auch diese Untersuchungen sind von Frau Curie gemacht worden.

Wenn man ein Radiumsalz erwärmt, so entwickelt es Emanationen, und infolgedessen entsteht ein Verlust von Aktivität. Erwärmt man das Salz 1 Stunde lang auf 130°, so verliert es 10% seiner Aktivität; 10 Minuten lange Erwärmung auf 400° bringt keinen bemerkbaren Effekt hervor; wenn man aber die Erwärmung mehrere Stunden lang bis zur Rotglut steigert, so verflüchtigen sich 77% der Aktivität und davon sind gerade die am stärksten durchdringenden Strahlen betroffen.

Das erkaltete Salz gewinnt nach und nach seine ursprüngliche Aktivität wieder, und sonderbarerweise ist seine neue Endaktivität viel höher als seine Aktivität anfänglich war. Diese Versuche sind mit einer Probe von radiumhaltigem

Baryumchlorid gemacht worden, dessen Anfangsaktivität 470 war, und das nach Erwärmung während einiger Stunden auf Rotglut schließlich nach 2 Monaten eine Aktivität von 690 besaß.

Eine andere Probe hatte ihre Aktivität mehr als verdoppelt, indem diese von 62 auf 140 stieg.

In der folgenden Zahlenreihe sind die Veränderungen aufgeführt, die sich an einer Probe, während 7 Stunden auf Rotglut erwärmt, zeigten.

Zeit in Tagen .	0	0,6	1	2	3	4	6	10	24	57
Aktivitäten .	16,2	25,4	27,4	38	46,3	54	67,5	84	95	100

Bei aufgelösten Salzen macht sich die Wärmewirkung nicht in obiger Weise geltend. Man machte mit 2 Proben von der Aktivität 1800 folgende Versuche: die eine erwärmte man stark, bis ihre Aktivität auf 670 vermindert war; beide Proben ließ man 20 Stunden lang in Lösung und trocknete sie darauf bis zum Festwerden; die Endaktivität war für die nicht erwärmte Probe 460 und für die erwärmte 420; es zeigte sich also nur ein sehr geringer Unterschied.

Übrigens ist es nicht gleich, ob die Auflösung nur von sehr kurzer oder längerer Dauer ist, und ob man das Salz sofort trocknet. Eine Probe von der Aktivität 3200 wurde durch Erwärmung auf die Aktivität 1030 herabgemindert; sie wurde zur selben Zeit, wie die andere nicht erwärmte, aufgelöst, beide Proben wurden sofort getrocknet; die Endaktivität war für die nicht erwärmte 1450 und für die erwärmte 760.

Die Kraft, induzierte Radioaktivität zu erzeugen, wird durch Erwärmung stark beeinträchtigt, weil letztere die Entwicklung von Emanationen befördert.

Nach einer Erwärmung der Salze bis zur Rotglut verschwindet ihre Fähigkeit zur Emanation fast ganz. Aber man kann den Salzen ihre ursprüngliche Aktivierungskraft wiedergeben, wenn man sie auflöst und bei 120° trocknet. Frau Curie hat an frisch hergestellten Salzen bewiesen, daß diese gleiche Aktivierungskraft besitzen können, wie solche mit Endaktivität. In beiden Fällen war die Menge der Emanationen die gleiche.

Angenommen a sei die induzierte Endaktivität, die von

einer Probe radiumhaltigen Baryumkarbonats mit der Aktivität 1600 auf eine Kupferplatte ausgeübt werde.

Für das nicht erwärmte Präparat soll $a = 100$ sein, dann findet man:

1	Tag	nach der	Erwärmung	$a = 3{,}3$
4	Tage	„ „	„	$a = 7{,}1$
10	Tage	„ „	„	$a = 15$
20	Tage	„ „	„	$a = 15$
37	Tage	„ „	„	$a = 15$

Die Aktivität eines Präparats, welches gleich nach seiner Erwärmung 90% seiner Aktivität verloren hatte, gewann nach 1 Monat seine volle Endaktivität wieder. Während dieser Zeit hatte die induzierte Aktivität kaum ein Siebentel ihres Endwerts erreicht.

Ein zweiter Versuch wurde mit Salz von der Aktivität 3000 gemacht und gab folgende Resultate:

Für das nicht erwärmte Salz soll $a = 100$ gesetzt werden. Es blieb 3 Stunden lang in Rotglut.

2	Tage	nach dem	Glühen	$a = 2{,}3$
5	Tage	„ „	„	$a = 7{,}0$
11	Tage	„ „	„	$a = 8{,}2$
18	Tage	„ „	„	$a = 8{,}2$

Die Aktivierungskraft des nicht erwärmten Salzes, welches aufgelöst und bei 150° wieder getrocknet wurde, war . . . . . $a = 92$.

Die Aktivierungskraft des erwärmten Salzes, welches aufgelöst und bei 150° wieder getrocknet wurde, war . . . . . $a = 105$.

Diese verschiedenen Phänomene lassen sich sehr wohl mit Hilfe der Theorie der induzierten Aktivität erklären. Ein gelöstes Salz entwickelt eine ansehnliche Menge Emanationen; wenn man dieses Salz abdampft, so bleibt es nur schwach aktiv, weil es wenig oder gar keine Emanationen mehr enthält. Die entstehenden Emanationen häufen sich an, die Aktivität des Salzes vermehrt sich bis zu einem Grenzwert, welcher die Herstellung des Gleichgewichts zwischen Erzeugung

der Emanationen und dem Verlust, welcher durch Umwandlung in Becquerelstrahlen entsteht, bezeichnet.

Erwärmt man ein Salz, so sind die Emanationen, welche es nach außen hin verbreitet, sehr beträchtlich, die Erscheinungen der Radioaktivität sind intensiv; nach Rückkehr zur gewöhnlichen Temperatur ist es wie erschöpft, ebenso wie nach der Auflösung; es schließt dann wenig Emanationen in sich ein, seine Radioaktivität ist deshalb schwach; nach und nach häufen sich aber die Emanationen wieder an und das Salz gewinnt seine frühere Aktivität vollkommen wieder.

Achtes Kapitel.

Hypothesen über die Natur und über die Ursachen der Erscheinungen. Allgemeine Betrachtungen.

Hypothese der Emanation. Nicht mit Unrecht darf man ein Radiumatom als eine fortdauernde und beständige Quelle von Emanationen betrachten, als eine besondere Form von Energie, welche sich unter gewissen Umständen in der radioaktiven Form von Becquerelstrahlen äußert. Letztere treten dann in Erscheinung, wenn die Emanationen gegen Hindernisse oder solide Körper anprallen.

In den radioaktiven Salzen geht die Umwandlung im Präparat selber vor sich und daher nehmen hier die Strahlungen den höchsten Grenzwert an. Daß die fraglichen Emanationen wirklich vorhanden sind, unterliegt keinem Zweifel. Die Beweise dafür sind zur Genüge geliefert durch die verschiedenen Versuche, die im Kapitel über induzierte Radioaktivität ausführlich beschrieben sind.

Nicht ausgeschlossen erscheint es, daß die Emanationen des Radiums „Helium“ sind. Diese von Rutherford und Sir William Huggins ausgehende Hypothese gipfelt in der Überzeugung dieser beiden Forscher, daß das Produkt des atomistischen Zerfalls des Radiums „Helium“ ist. Und von größter Wichtigkeit bei diesem Vorgange wäre das Ereignis, daß ein Körper von so hohem Atomgewicht 225, wie Radium, bei seiner Umwandlung in einen andern Körper von sehr niedrigem Atomgewicht übergehen soll. Ein sonderbarer Vorgang, der uns ein neues Feld der Hypothesen über die Konstitution der Materie eröffnet.

Einen Beweis zu dem vorstehend Gesagten bietet eine

von Herrn Curie beobachtete Erscheinung. Er hatte ein zugeschmolzenes Glasrohr mit 0,7 g vollkommen trockenem Radiumbromid 2 bis 3 Monate lang aufbewahrt. Das Rohr war vor dem Zuschmelzen luftleer gemacht und aus Vorsicht, um es vor Zerspringen zu bewahren, noch mit einer Papierhülle umgeben worden. Als es im August 1903 geöffnet wurde, erfolgte im Moment des Glasschnitts eine kleine Explosion und das Radium wurde 4 m bis 5 m weit fortgeschleudert, wodurch ein kleiner Teil verloren ging. Diese Explosion ist offenbar eine Wirkung mehrerer vereinigter Vorgänge und zwar einesteils einer elektrischen Entladung, ähnlich derjenigen einer überladenen Leydener Flasche, wovon früher die Rede, anderenteils einer Anhäufung von Helium, wodurch ein starker Gasdruck entstanden war. In einem anderen Falle entwickelte ein Radiumsalz, welches in einem luftleeren zugeschmolzenen Glasrohr mehrere Monate lang aufbewahrt worden war, unter Wasser einen Schwarm von Glasblasen.

Das Wort „Emanation“ klingt so veraltet, als wäre es dem Wortschatz der Alchemie entlehnt[1]), und man sollte sich hüten, falsche Begriffe damit zu verbinden. So ist z. B. die Radiumemanation von dem englischen Physiker Boys in seiner Rede gelegentlich des Kongresses der British Association in Southport als neuerstandenes Perpetuum mobile bezeichnet worden und daran hat er die sonderbarsten Hypothesen geknüpft, betreffend die Konstitution der Kometen, deren Haupt aus Radium und deren Schweif aus radioaktiven Emanationen bestehen soll!

Elektronen und Kathodenstrahlen. Nach der Maxwellschen Theorie, nach den Experimenten von Roland, von Hertz und der Theorie von Lorentz ist Elektrizität an gewisse außerordentlich kleine materielle Partikeln gebunden, denen eine sehr große Geschwindigkeit innewohnt. Diese Partikeln sind von den bekannten Physikern Elster und Geitel in Wolfenbüttel mit dem Namen „Elektronen“ belegt worden. Aus

[1]) Anmerk. d. Übersetzers. Der Autor spielt mit obiger Bemerkung auf eine philosophische Ansicht des Altertums an, der zufolge in stufenweise herabsteigenden Entwicklungen alle Dinge aus dem höchsten Wesen flössen, so daß das ganze Universum im allgemeinen und besonderen ein Ausfluß des Ewigen sei.

ihnen soll der elektrische Strom bestehen und sie sollen imstande sein, alle Körper zu durchdringen. Es gibt Kationen (positive Elektronen) uud Anionen (negative Elektronen).

Mit Hilfe dieser Anschauung betrachten Sir W. Crookes und J. J. Thomson die Kathodenstrahlen als eine Emission von elektrischen Korpuskeln, welche (in Röntgenröhren) durch die Wirkung der elektrischen Funken in sehr verdünnten Gasen sich erzeugen lassen. Diese Partikeln bombardieren die Glaswände der Röhren; ihre Masse ist außerordendlich fein, ihre Geschwindigkeit sehr bedeutend und von gleicher Größenordnung wie die des Lichts, und befähigt sie, feste Körper zu durchdringen; ihre elektrische Ladung ist enorm. Dies ist die Deutung der ballistischen Hypothese.

Die Richtigkeit der Hypothese der Emission dürfte in folgenden 2 Versuchen ihre Bestätigung finden.

1. Man weiß, wie schwer es fällt, eine Kondensierung von Wasserdampf in Form von Nebel zu erhalten, wenn ein Dampfstrahl in einen geschlossenen Raum eindringt, in welchem gänzlich staubfreie Luft . sich befindet, obgleich die darin herrschende Temperatur niedriger ist als die Kondensationstemperatur; wenn die Luft dagegen Partikel sehr feinen Staubes enthält, so entsteht eine gewisse Attraktionswirkung und der Dampf kondensiert sich in Form von Nebel. Da nun Kathoden- und Becquerelstrahlen die nämliche Wirkung zeigen, so ist man berechtigt anzunehmen, daß die ballistischen Korpuskeln wie Staub wirken.

2. Ferner hat vor einigen Jahren der Chemiker Landolt festgestellt, daß manche physikalische und chemische Reaktionen nur zustande kommen auf Kosten einer Gewichtsverminderung, was der allgemeinen Erfahrung widerspricht. Dies scheint auch den Grundgesetzen von der Erhaltung der Kraft und des Stoffs zu widersprechen. Die Landoltschen Versuche sind durch mehrere Forscher kontrolliert worden, und unter anderen hat Heydweiller seine Resultate in der Physikalischen Zeitschrift im Oktober 1902 veröffentlicht. Er schreibt diese Gewichtsänderungen den Wirkungen der Radioaktivität zu. Um dies zu beweisen, hat er folgendes Experiment gemacht. Ein Glasrohr aus Jenenser Glase, welches 5 g eines sehr stark radioaktiven Präparats enthielt,

wurde mehrere Wochen lang mit einem gleichen Rohre von dem nämlichen Gewicht und Volumen, welches aber nur Glasscherben enthielt, verglichen. Es wurde eine fortwährende Gewichtsabnahme festgestellt, ungefähr 0,02 mg in 24 Stunden, und daraus die Energie, welche das beoachtete Präparat aussandte, auf 5 Erg pro Sekunde und Quadratcentimeter der Oberfläche berechnet. Bei gleicher Radioaktivität ergaben die Berechnungen von Becquerel für die ausgestrahlte Energie des von Heydweiller verwendeten Präparats unter der Form von ablenkbaren Strahlen die Menge von 10^7 Erg pro Tag. Demnach würde der beobachtete Gewichtsverlust von 0,02 mg für den nämlichen Zeitabschnitt mit der potentiellen Gravitationsenergie im Erdfelde, ungefähr $1{,}2 . 10^7$ Erg, korrespondieren.

Diese auffällige Übereinstimmung, meint die Revue Général des Sciences, welcher diese Resultate entnommen sind, legt den Schluß nahe, in den radioaktiven Erscheinungen eine direkte Umwandlung der potentiellen Gravitationsenergie in strahlende Energie zu erblicken, was sehr wohl mit den modernen Anschauungen über diese Phänomene in Einklang zu bringen ist.

Übrigens sind diese Versuche noch nicht genügend kontrolliert. Der von Heydweiller gefundene Gewichtsverlust ist sehr bedeutend und weder Herr Curie, noch der Verfasser haben einen wahrnehmbaren Gewichtsverlust mittels einer Wage, welche bis auf $^1/_{100}$ mg genau wiegt, während 5 Jahren festzustellen vermocht.

Das atomistische System. Wirkungen der ballistischen Korpuskeln. Jean Perrin[1]) versteht unter einem Atom ein Sonnensystem en miniature, in welchem die mit negativer Elektrizität geladenen Korpuskeln sich wie Planeten um eine oder mehrere Sonnen von verhältnismäßig großer Masse, mit positiver Elektrizität geladen, herum bewegen und das Ganze ein neutrales System bildet. Der Unterschied zwischen den Atomen könnte von der Anzahl der Korpuskeln, ihrer Geschwindigkeit, ihrem Abstande vom Rotationsmittel-

[1]) Jean Perrin, Les hypothèses moléculaires.

punkte herrühren; schwere Atome würden ein an Korpuskeln sehr reiches Planetensystem sein. Demnach könnten in schweren Körpern manche Korpuskeln soweit entfernt vom Mittelpunkte und so wenig von diesem angezogen sich befinden, daß sie sich freimachen und zu kathodischen Korpuskeln werden. Wilson und J. J. Thomson haben berechnet, daß die Masse dieser Korpuskeln gleich ist dem Millionsten Teil eines Atoms.

Diese Hypothese beweist am besten, warum die Radioaktivität eine Eigenschaft der Körper mit hohem Atomgewicht sein muß: Radium 225, Thorium 234, Uranium 240, Wismut-Polonium 208. Sie ist sehr verführerisch, denn sie macht das Gesetz der Gravitation auf jeglichen Zustand der Masse anwendbar. Sie verwendet ein bekanntes Gesetz zur Erklärung aller Phänomene, sie schafft eine Einheit des Stoffs, überhaupt eine Anschauung, welche wahrscheinlicher ist, als die Annahme einer beschränkten Anzahl einfacher Körper.

Von Hause aus erscheint die Behauptung, das Atom sei teilbar, als ein Nonsens. Demgegenüber beleuchtet aber die Jonen-Theorie früher nicht beachtete Vorgänge bei den elektrolytischen Auflösungen, bei denen Atome dissoziiert und vermöge ihrer elektrischen Ladungen befähigt werden, an der Seite anderer einherzugehen, ohne sich mit ihnen zu verbinden. Liefern nicht die Erscheinungen bei Erwärmung des Schwefels, die katalytischen Wirkungen des Platinschwamms, die allotropischen Modifikationen mehrerer Elemente, manche chemischen Auflösungen und Scheidungen, die Osmose u. a. m. genügende Beweise für die Spaltbarkeit der Atome?

Bildung der Atome. Erzeugung von Energie. Zu dieser Frage hat Becquerel gelegentlich einer Sitzung der französischen Akademie der Wissenschaften am 8. Juni 1903 eine Arbeit von Filippo Ré vorgetragen: „Die Hypothesen über die Natur der radioaktiven Körper".

Der wesentliche Inhalt dieser Arbeit ist folgender:

„Zahlreiche Tatsachen führen zu der Überzeugung, daß die Atome nicht aus geschlossen zusammenhängender Materie bestehen, sondern aus Partikeln von derselben oder auch von verschiedener Natur. Das Vorhandensein von radioaktiven Körpern bestätigt diese Voraussetzung, denn wie wäre es wohl begreiflich, daß starre Atome die verwickelten Erscheinungen der Radio-

aktivität hervorbringen sollten? Angenommen, es sei so, dann wäre auch die Annahme nicht unberechtigt, daß die zusammensetzenden Partikel der Atome vordem frei waren und eine nebelartige Masse von unendlicher Feinheit bildeten, daß sie sich später um einen Mittelpunkt scharten und auf diese Weise kleine Sonnen schufen, welche infolge weiterer Verdichtung feste und bestimmte Formen annahmen, so daß wir die Atome der uns heute bekannten Urstoffe mit kleinsten erloschenen Sonnen vergleichen könnten. Die größeren, noch nicht erloschenen Sonnen würden die Atome der radioaktiven Stoffe sein."

„Zur Begründung dieser Hypothese, deren Berechtigung nicht geringer ist, als diejenige der Entstehung der Welten, mögen folgende Erläuterungen gestattet sein:

1. warum die radioaktiven Körper ein hohes Atomgewicht besitzen,

2. warum sie Energie entwickeln, welche aus der Zusammenziehung ihrer Atome entspringt."

„Vor allem verdient hervorgehoben zu werden, daß viele der neueren in Frage kommenden Erscheinungen nicht abweichen von den uns bekannten durch die Sonne, durch leuchtende, wärmeerzeugende, aktinische und elektrische Entladungen hervorgerufenen Strahlen. Bezüglich der induzierten Radioaktivität haben viele neuere Beobachtungen gezeigt, daß die Luft, frischgefallener Regen und Schnee radioaktiv sind, und es erscheint somit nicht unwahrscheinlich, daß deren Radioaktivität durch das Sonnenlicht verursacht ist."

„Welche Bedeutung ist aber dem Einflusse des magnetischen Feldes auf radioaktive Erscheinungen beizumessen? In der Tat weichen die magnetischen Einwirkungen von den durch die Sonne hervorgerufenen ab; dabei darf aber nicht übersehen werden, daß auch die Beobachtungsbedingungen der beiderseitigen Erscheinungen wesentlich verschiedene wären. Im ersten Falle umgibt das magnetische Feld unmittelbar die radioaktiven Stoffe, im zweiten sind sie weit von der Quelle des Lichts entfernt. Im übrigen ließ sich voraussehen, daß die radioaktiven Körper den magnetischen Zustand ebensowohl beeinflussen, wie die Sonne Änderungen des Erdmagnetismus hervorruft."

„Man könnte vermuten, daß abgesehen von allen anderen Eigenschaften, die Radioaktivität verschwinden müßte, wenn man die radioaktiven Stoffe sehr niedrigen Temperaturen aussetzen würde, wie z. B. derjenigen der flüssigen Luft, indes auch hierbei zeigen sie sich unveränderlich.“

„Aber alle diese Einwendungen haben nicht mehr Wert als die Annahme, es möchte sich die Sonnenenergie in wahrnehmbarer Weise vermindern und in wenigen Jahren ganz verschwinden, weil sie von dem kalten Weltenraum umgeben sei. Das hätte doch schon längst geschehen müssen, wenn die Sonne ein brennender Körper wäre. Schließlich darf es uns nicht in Erstaunen setzen, wenn geringe Mengen Radium ansehnliche Wirkungen hervorbringen. Bisher ist es mit den zu Gebote stehenden Mitteln noch nicht gelungen, Atome zu spalten, und man darf überzeugt sein, daß die zu ihrer Bildung nötige Energie einer viel höheren Größenordnung angehört, als die molekularen und atomistischen Kraftäußerungen der Gravitation zu leisten imstande sind.“

„Die Atome der radioaktiven Körper haben ihre endgültige Anordnung noch nicht gefunden, sie befinden sich im Gegenteil noch im Zustande der Bildung und strahlen deshalb große Mengen Energie aus.“

Wie man sieht, trachtet Filippo Ré danach, mit seiner scharfsinnigen Hypothese die Bildung der Atome und die dabei auftretende Energie zu erklären. Man darf ihr die Hypothese von Jean Perrin über das Sonnensystem der Atome gegenüberstellen. Während die erstere diejenige der Weltenbildung ist, wäre letztere diejenige der allgemeinen Gravitation zu nennen.

Zum Vergleich der Wärmewirkung der Sonne mit derjenigen des Radiums hat man berechnet, daß eine Kugel von gleicher Größe wie die Sonne für jeden Kubikmeter ihres Inhalts 1 g Radium enthalten müßte.

Resumé der Hypothesen. Die Atome nehmen ihren Ursprung aus Nebelbildungen und sind gegenwärtig erloschene Sonnensysteme in den irdischen Körpern. Die Atome der radioaktiven Körper sind noch im Werden begriffen, sie bilden ein tätiges Sonnensystem, dessen Zusammenhang und endgültige Einrichtung eine große Menge von Wärme freimacht. Die

Partikel, welche dieses Sonnensystem zusammensetzen, aber noch nicht gebändigt und mit großer Rotationsgeschwindigkeit begabt sind, bilden die Atome, viel größer als die erloschenen, die Partikel, welche sich losreißen, sind die kathodischen Korpuskeln.

Auch noch eine andere Hypothese hat man aufgestellt, nämlich daß unbekannte Strahlungen fortwährend den Weltenraum kreuzten, und, bei den radioaktiven Körpern wegen ihres hohen Atomgewichts aufgehalten, in radioaktive Energie verwandelt würden.

Übrigens zeigt sich, wie Elster und Geitel beobachtet haben, keine Änderung in der Radioaktivität des Uraniums, ob dies auf der Erdoberfläche oder auf dem Grunde eines 850 m tiefen Schachtes gemessen wurde; eine Erdschicht von dieser Dicke schränkt also keinenfalls die primäre hypothetische Strahlung ein, welche durch die Radioaktivität des Uranium hervorgerufen wurde.

Ferner hat das Ehepaar Curie die Radioaktivität des Uranismus am Mittag und um Mitternacht gemessen, in der Meinung, daß die primäre hypothetische Strahlung ihre Quelle in der Sonne hätte und ein Teil beim Durchgang durch die Erde absorbiert sein möchte, aber keinerlei Unterschiede konnten festgestellt werden. Die nämliche Beständigkeit wurde durch Kapitän Lafay, Professor an der École polytechnique beobachtet. Aus diesen Versuchen läßt sich schließen, daß eine hypothetische Strahlung überhaupt nicht existiert.

Die Phänomene der irdischen Elektrizität sind durch Protuberanzen der Sonne beeinflußt und begleiten die Erdbeben. Die durch die Sonne erzeugte Elektrizität ist sehr bedeutend. Sollten diese in ihrer Form uns unbekannte Kräfte es sein, welche den anormalen Schweif der Kometen erzeugen, der dem normalen, der Sonne zugekehrten, entgegen läuft? Bessel glaubt, daß dieser Schweif durch eine Repulsivkraft der Sonne, durch elektrische oder magnetische Polarität, veranlaßt sei. Möglich, daß diese Kraft durch die Körper von hohem Atomgewicht, welche gewissermaßen als Empfänger wirken, zur Erscheinung gebracht wird.

Aus diesem ganzen Bereich von Hypothesen, welche nicht genügend exakt sind, streng wissenschaftliche Schlüsse

ziehen zu wollen, lohnt nicht, denn man liefe Gefahr, diese morgen als ungenau, sogar als absurd dargestellt zu sehen. Wir befinden uns gegenwärtig auf neuen Wegen in der langen Geschichte der Wissenschaft; wendet man ein Blatt, so bemerkt man, daß das Buch noch nicht angefangen hat, und daß die Wahrheit, welche man sucht, sich immer weiter entfernt nach Maßgabe der Eile, mit der man sie endlich gefunden zu haben meint.

Vor Übergang zu allgemeinen Betrachtungen mag hier noch ein Auszug aus der Theorie über die Verbreitung des Lichts von de Lapparent, Platz finden, weil diese aus den vorauf besprochenen Hypothesen entspringt.

Versuch einer Theorie über die Ausbreitung des Lichts. Newton hatte behauptet, daß das Sonnenlicht durch Emission von Partikeln, welche von dem leuchtenden Körper ausgingen, erzeugt werde. Dies ist die „Emissions-Theorie", welche bis zu Anfang des 19. Jahrhunderts wenig Anfechtung erlitt; von da ab kam die Huygens'sche Hypothese der Wellenbewegung immer mehr zur Geltung, welche annimmt, das Licht sei keine Substanz, sondern eine gewisse Art der Bewegung in einem ideellen Medium, „Äther" genannt. Dies ist die „Undulations-Theorie".

Auf Grund seiner Arbeiten über Interferenz und Polarisation bestätigte Fresnel die Undulationstheorie, welche man jetzt allgemein angenommen hat, obgleich man noch nicht vollkommen einig über die Art der Bewegung ist. Dem Äther werden widersprechende Eigenschaften zugeschrieben, er soll dünner, feiner und elastischer sein als das leichteste Gas und dabei stärkeren Zusammenhang äußern als die festesten Körper. Fresnel nimmt die Bewegung rechtwinklig auf die Ebene der Ausbreitung an, Neumann dagegen läßt sie in der Ebene selber vor sich gehen. Maxwell, sich anlehnend an die Lichterscheinungen der elektrischen Ströme, sucht sie durch die Verschiebungen der Elektronen zu erklären; Perrin läßt mit seiner Theorie der Atome und seiner Hypothese von der Erzeugung der kathodischen Korpuskeln die Emissionstheorie wieder aufleben. Seiner Ansicht nach werden von der Atmosphäre der Sonnenkorona, welche unendlich verdünnt und sehr stark elektrisch geladen ist, in den

keinerlei Widerstand bietenden Weltenraum große Ladungen von Korpuskeln mit ungeheurer Geschwindigkeit ausgestrahlt, welche Korpuskeln mit einer Energie-Form behaftet sind, analog der bei den radioaktiven Korpuskeln vorausgesetzten.

de Lapparent hat nun versucht, die Emissionstheorie mit der Undulationstheorie zu vereinigen, und in einem an den Verfasser gerichteten Briefe, welcher auszugsweise folgt, erklärt, er stelle seine Hypothese zur Verfügung der Physiker, deren Sorge es in Zukunft sein möge, sie zu bestätigen oder zu verwerfen. Er schreibt: „Um die periodische Wiederkehr der Lichterscheinungen mit der Emission von Korpuskeln in Einklang zu bringen, genügt nach meiner Meinung Zuflucht zu nehmen zur Hypothese von Jean Perrin. Ich vermute, daß die losgelösten Korpuskeln, nachdem sie sich mit fabelhafter Geschwindigkeit herumgedreht haben, im Weltenraum eine Schraubenlinie von sehr stark gestreckten Windungen und geringem Durchmesser beschreiben. Diese Art der Bewegung würde an Stelle der Wellenbewegung des Äthers und seiner sonstigen Wirkungen treten, und man hätte schraubenförmige Schwingungen, bei denen die Länge der Schraubengänge die Schwingungsdauer und der Durchmesser des Schraubenumfanges die Dispersion bedeuten würden. Diese Idee kam mir nach der Lektüre einer wissenschaftlichen Arbeit von Marn, Inspecteur général des Ponts et Chaussées über den „Äther als universelles Prinzip der Kräfte“, und ihre Anwendbarkeit auf die Korpuskeln selber dürfte nicht ohne weiteres verneint werden.“

Die hier dargelegte Hypothese ist nicht nur als Rückblick auf das Vorhergesagte, sondern auch dadurch besonders interessant, als sie den fortdauernden Umbildungsprozeß der Sonne mit dem Zustande der radioaktiven Atome vergleicht.

Allgemeine Betrachtungen.

Die Zukunft muß über den Wert der hier vorgetragenen Hypothesen entscheiden und den Kern der Wahrheit herausschälen. Ob sie alle zu stellenden Anforderungen erfüllen werden, das faßt die Betrachtung von Dastre[1]) in folgenden Worten zusammen:

[1]) Dastre, Revue des Deux Mondes.

„Von einer wissenschaftlichen Hypothese darf man niemals verlangen, daß sie von Hause aus schon die unveränderlich feststehende Formel der Wahrheit ausdrückt. Sie dient lediglich als ein Mittel, diese vorzubereiten, sie ist ein Gebilde der Erwartung, ein provisorisches Gerüst, welches mehr oder minder deutlich Form und Umrisse des wirklichen Monuments verrät. Sie muß, um gerechtfertigt zu werden, die strengsten Anforderungen erfüllen, deren erste selbstverständlich diejenige ist, daß sie nicht im Widerspruch zu vorhandenen Tatsachen steht, und deren zweite, fruchtbar zu sein, d. h. daß sie hilft, neue Tatsachen an die Hand zu geben und zu entdecken, die schon bekannten und noch zusammenhangslosen Tatsachen zu ordnen und zu erklären. Ihr Nutzen muß ihr zur Entschuldigung dienen, daß sie nur einen teilweisen Einblick in die Wahrheit darbietet, nach welcher der Mensch trachtet, sie aber nur schrittweise zu erreichen vermag.“

Henri Poincaré sagt in seinem Werke: „Die Wissenschaft und die Hyothese“:

„Es gibt keine Wissenschaft ohne Verallgemeinerung und jede Verallgemeinerung ist eine Hypothese. Der Versuch ist die alleinige Quelle der Wahrheit, er allein kann Gewißheit verschaffen. Die mathematische Physik leistet uns die Dienste zu verallgemeinern. Jederzeit werden neue Beziehungen zwischen den Objekten und Tatsachen entdeckt, und so weit es möglich, strebt auch die Wissenschaft jederzeit nach Einheit und Einfachheit; aber unter dem Druck des Überflusses vermögen wir nicht mehr zu sichten, wir müssen unser Ideal aufgeben und die Wissenschaft zu einer Sammlung unzähliger Rezepte herabsetzen.“

Dies wäre ein Fallissement der Wissenschaft, wie manche sagen, indem sie ihren Worten einen anderen Sinn unterlegen. Dies ist aber nicht zu befürchten, und anstatt über die Zukunft im voraus abfällig entscheiden zu wollen, sollte man die Errungenschaften der letzten Jahre, welche sehr ermutigend sind, richtig würdigen. Indem man den Zusammenhang zwischen Licht, Elektrizität und Magnetismus bewies, schuf man den Begriff von der Einheit der Kraft und ein neuer großer Fortschritt würde gemacht, sein wenn die Einheit des Stoffes festgestellt wäre.

In diesem Sinne sprach sich der Präsident der französischen Akademie der Wissenschaften, Maurice Levy, in der öffentlichen Sitzung am 17. Dezember 1900 aus:

„War es nicht die kartesianische Idee, von der alle fruchtbaren Ideen über das Licht von Huygens, Fresnel, Maxwell mit allen ihren Folgen ausgingen? Und haben sie uns nicht die Photographie, die Spektroskopie, die Kathodenstrahlen, die Röntgenstrahlen, die Becquerelstrahlen gebracht? Aus ihr folgte das Prinzip von der Erhaltung der Kraft und das von der Erhaltung des Stoffs (Lavoisier): Bedeutsame universelle Wahrheiten! Die Newtonsche Mechanik ist unzulänglich, weil sie das Wägbare vom Unwägbaren trennt. Die Chemie von Lavoisier und das Prinzip der Kraft tun das gleiche. Wahrscheinlich ist es, daß diese Prinzipien in einen einzigen Gedanken sich verschmelzen werden."

Vielleicht kommt der Tag, an welchem man die Ende des 18. Jahrhunderts von dem Jesuitenpater Boscovich aufgestellte Theorie begreifen wird, welche „die Stofflichkeit des Stoffes" verneint und in den Atomen nichts anderes als Kraftcentren sieht. Zur Zeit wissen wir noch nicht, was Kraft ist, wir beginnen erst langsam den Begriff Energie zu erfassen. Gäbe es nur Energie, dann wäre der Stoff zerstörte Energie. Indes mit solchen Annahmen verirrt man sich in das metaphysische Gebiet und schlägt sich selbst in Fesseln. Genug, daß der menschliche Verstand die Hypothesen erfaßt, um die Tatsachen zu erklären, welche das Experiment enthüllt; leider sind aber unsere Forschungsweisen recht unvollkommen, unsere Fenster, durch welche wir die Natur betrachten, sind zu schmal, unser Gehör ist nur auf manche Töne gestimmt, unser Auge nimmt nur gewisse Strahlen wahr und die Unvollkommenheit unserer übrigen Sinne läßt womöglich noch mehr zu wünschen übrig.

Wäre die Erde fortdauernd von dichtem Nebel umgeben, so würde man ihre Bewegung nicht gewahr werden, aber man könnte die Foucaultschen Pendelversuche sehen, auch Tag und Nacht und die Jahreszeiten unterscheiden. Unsere Beziehungen zum Weltall sind so schwach und unzulänglich, daß wir auf diesem Gebiet in vollkommener Unkenntnis schweben. Trotzdem unsere Beobachtungswerkzeuge sich verbessern und

und unsere Forschungsweisen sich vermehren, werden wir fortfahren, nur wenige Gesichtspunkte zu erfassen, auf welche unser Geist schwankende Hypothesen aufbaut, wie es nun einmal Menschenwerk ist; aber das macht nichts, die Forschung nach der Wahrheit wird darum nicht minder das Ideal des Menschen bleiben, welches zu erreichen er alle seine Kräfte daransetzen wird, das Ideal, welches sich ins Unendliche verliert. Wir werden stets nur die zweiten Gründe kennen lernen, wie Claude Bernard und Pasteur sagen.

Die ultima ratio wird stets die unendliche unbekannte Größe bleiben.

Zum Schluß meines Werkes führe ich noch eine Stelle an aus einer Rede von Lord Kelvin,[1]) welche nach seiner Meinung recht eigentlich die spiritualistsche Philosophie Englands charakterisiert und anziehender wirkt als der kalte Materialismus, welcher das Leibgedinge Frankreichs zu sein scheint.

Lord Kelvin sagt: „Anlangend den Ursprung des Lebens, so kann ich nicht gelten lassen, daß die Wissenschaft das Dasein einer schöpfenden Kraft weder bekräftigt, noch leugnet. Im Gegenteil, die Wissenschaft bekräftigt das Dasein dieser Kraft. Wir leben nicht in einer toten Materie und unser Wesen besteht nicht aus leblosen Stoffen, sondern wir leben unter der Gewalt eines göttlichen Schöpfers, welchen als vornehmsten Glaubensartikel anzunehmen uns die Wissenschaft verpflichtet. Von dieser Schlußfolgerung können wir uns nicht lossagen, wenn wir die Physik, die Dynamik der lebenden Wesen in der sie umgebenden ruhenden Natur betrachten."

„Die modernen Physiologen werden noch einmal dahin gelangen zu versichern, daß es außer der einfachen Gravitation, den physischen und chemischen Kräften noch ein Etwas gibt. Das ist das Lebensprinzip. Die Wissenschaft stellt ein unbekanntes Wesen dem Menschen voran und der Gedanke an diese Unkenntnis verbrüdert uns ingesamt. Wir kennen Gott nur aus seinen Werken, aber die Wissenschaft zwingt uns, mit unbedingtem Vertrauen an noch höhere Einflüsse zu glauben, als nur an physische, dynamische oder elektrische. Cicero

[1]) Lord Kelvin, XIXe Century, Juni 1903.

bestreitet, daß Menschen, Tiere und Pflanzen aus einem zufälligen Zusammenstoßen der Atome hervorgehen können. Aber einen Mittelweg gibt es nicht zwischen absoluter wissenschaftlicher Überzeugung von dem Dasein einer Schöpferkraft und der Annahme der Theorie von dem zufälligen Zusammenstoßen der Atome. Sind Sie imstande, sich ein Stelldichein von Atomen zu denken, welche einen Kristall, eine Moosfaser, ein Tier, eine Mikrobe bilden? Cicero's Ausdruck: „zufälliges Zusammenstoßen der Atome" wäre nicht übel gewählt für die Bildung eines Kristalls, aber die Männer der modernen Wissenschaft verdammen mit ihm die Idee von dem zufälligen Zusammenstoß als absurd, indem er keinesfalls ausreiche, um die Ausbildung der vielseitigen Dimensionen eines Kristalls zu erklären, und noch viel weniger die Kontinuität der molekularen Verbindungen, wie sich solche im Körper lebender Wesen vorfinden. Hier wird der Gedanke des Gelehrten gezwungen, die Idee einer schöpferischen Kraft in sich aufzunehmen. Gelegentlich eines ländlichen Spazierganges mit Liebig, es sind seitdem 40 Jahre verflossen, frug ich ihn, ob er wohl glaube, daß Rasen und Blumen infolge chemischer Kräfte wüchsen? Worauf er mir antwortete: „Ebensowenig, wie ich glaube, daß chemische Kräfte ein Buch übersetzen können, welches die Phänomene der Vegetation beschreibt; jede Handlung des freien Willens ist ein Wunder für chemische, physikalische und mathematische Wissenschaft." Befürchten Sie nicht, daß wir Freidenker sind. Aber wenn unsere Gedanken stark genug sein werden, so werden wir auch durch die Wissenschaft gezwungen sein, an Gott zu glauben, was das Fundament jeder Religon bildet, und wir werden erleben, daß die Wissenschaft sich nicht als Feindin, sondern als Hilfstruppe der Religion erweist."

Im gleichen Verlage erschienen:

SODDY, FREDERICK, Dozent der physikalischen Chemie und Radioaktivität in Glasgow, **Die Radioaktivität** in elementarer Weise vom Standpunkte der Desaggregationstheorie aus dargestellt. Unter Mitwirkung von Dr. L. F. Guttmann, übersetzt von Prof. G. Siebert. [XII, 216 Seiten.] 1904. M. 5.60, geb. M. 6.40.

Der Verfasser hat hier eine zusammenhängende Darstellung der bemerkenswerten Reihe von Untersuchungen gegeben, welche Becquerel's bekannte Entdeckung zur Folge hatte.

Das Buch ist dazu bestimmt, Studierenden und solchen, die sich im allgemeinen für den Gegenstand interessieren, die Hauptargumente und die wichtigsten experimentellen Daten vorzuführen, durch welche man die Resultate erzielt hat, es dient auch als Einleitung für das Studium ausführlicherer Werke, sowie der Originalabhandlungen von Curie, Rutherford etc.

— — **Die Entwickelung der Materie enthüllt durch die Radioaktivität.** Wilde-Vorlesung, gehalten am 23. Februar 1904 in der Literary and Philosophical Society in Manchester. Autorisierte Übersetzung von Prof. G. Siebert. [64 S.] 1904. M. 1.60.

Zeitschr. f. Elektrochemie: Die Vorlesung enthält die hochinteressanten Vorstellungen, wie sie sich dem bekannten Arbeitsgenossen Rutherfords und Ramsays aus den wichtigsten Untersuchungen ergeben haben, die wohl bis heute auf dem Gebiete der Radioelemente gemacht worden sind.

Die Lektüre des Vortrags wird jedenfalls allseitig Spannung und Anregung geben, und so sei sie jedermann wärmstens empfohlen.

Chemiker-Zeitung: Die Kühnheit der Hypothesen, die geradeswegs in die Fundamente unserer Wissenschaft vordringen, wird zwar vielleicht noch nicht jedem mit dem Gewicht der Tatsachen im Einklang erscheinen, dennoch ist es jedenfalls fesselnd und scheint auch lohnend, diese Ideen von einer Zusammengesetztheit der Atome kennen zu lernen und zu verfolgen, die möglicherweise berufen sind, eine neue Ära der Chemie einzuleiten. Die Lektüre des Vortrags ist daher jedermann dringend zu raten.

RAMSAY, SIR WILLIAM, Einige Betrachtungen über das periodische System der chemischen Elemente. Vortrag, gehalten auf der 75. Versammlung deutscher Naturforscher und Ärzte zu Kassel. Gr. 8°. [29 Seiten mit 1 Abbildung.] 1903. M. 1.—.

Ztschr. für phys. Chemie: Wie bekannt, hat Ramsay der großen Zahl seiner fundamentalen Entdeckungen eine höchst unerwartete neue hinzugefügt: die fortdauernde Bildung von Helium aus Radium. Man wird daher mit dem lebhaftesten Interesse in diesem Vortrage das Nähere hierüber, sowie über die allgemeinen Betrachtungen entnehmen, welche diese Tatsache bei dem geistvollen englischen Forscher ausgelöst hat.

HOFMANN, KARL, Die radioaktiven Stoffe nach dem neuesten Stande der wissenschaftlichen Erkenntnis. 2. vermehrte und verbesserte Auflage. [76 S.] 1904. M. 2.—.

Elektrochemische Zeitschrift: Wenn es der Verfasser unternommen hat, durch vorliegendes Werk die Kenntnisse von den radioaktiven Stoffen und ihren Wirkungen auch in den Kreisen zu verbreiten, die diesem Gebiete bisher fern gestanden, so hat er sich damit sicherlich eine sehr verdienstvolle Aufgabe gestellt. Das Werk enthält einen vollständigen Überblick über unser gesamtes Wissen von den Erscheinungen der Radioaktivität und zwar in kurzer, prägnanter Darstellung. Trotz dieser Kürze wird es jedoch auch für denjenigen von Nutzen sein, der sich eingehend über das vorliegende Gebiet unterrichten will, oder der es durch eigene Forschungen weiter auszubauen gedenkt.

Zwanglose Abhandlung aus dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik. Herausgegeben von Dr. Hans Kurella-Breslau und Professor Dr. A. Luzenberger-Neapel.

Heft 1: Das Wesen der Kathoden- und Röntgenstrahlen. Von Privatdozent Dr. Johannes Stark-Göttingen. M. —.80.

Heft 2: Die Wärmestrahlung, ihre Gesetze und ihre Wirkung. Von Dr. Fritz Frankenhäuser. M. 1.50.

Diese Abhandlung, welche moderne Themen der physikalischen Heilbehandlung enthalten, wenden sich an ein größeres Publikum.

Festschrift Ludwig Boltzmann gewidmet zum sechzigsten Geburtstage, 20. Februar 1904. 8°. [XII, 930 Seiten mit einem Porträt, 101 Abbildungen im Text und 2 Tafeln.] 1904. M. 18.—.

Die Festschrift enthält 117 Abhandlungen aus den Gebieten der Mathematik, Physik, Elektrotechnik und physikalischen Chemie, und die bedeutendsten Fachgelehrten haben daran mitgearbeitet, wir nennen nur die Namen:

S. Arrhenius, H. du Bois, O. Chwolson, P. Duhem, H. Ebert, J. H. van't Hoff, H. Kayser, W. König, E. Lecher, O. Lehmann, H. A. Lorentz, E. Mach, W. Nernst, C. Neumann, L. Pfaundler, M. Planck, F. Richarz, E. Riecke, A. Righi, C. Runge, A. Sommerfeld, J. D. van der Waals, E. Wiedemann, W. Wien u. v. a.

Der Band bildet eine unbedingt notwendige Ergänzung zu den „Annalen der Physik". Die Redaktion der „Annalen" wird das Inhaltsverzeichnis der Boltzmann-Festschrift im Jahresregister 1904 mit abdrucken, um auch äußerlich eine Verbindung mit den „Annalen" herzustellen.

Stallo, J. B., Die Begriffe und Theorien der modernen Physik. Aus dem Englischen übersetzt und herausgegeben von Prof. Dr. Hans Kleinpeter. Mit einem Vorwort von **Prof. Dr. Ernst Mach.** 8°. [XX, 332 Seiten mit Porträt des Verfassers.] 1901. M. 7.—; geb. M. 8.50.

Monatschrift für höhere Schulen: Wie Hume den Kausalbegriff und d'Alembert den Kraftbegriff einer kritischen Prüfung unterzog, so nimmt der Verfasser der vorliegenden Schrift den Atombegriff unter die sondierende Lupe der Philosophie. Vom Standpunkt des reinen Empirismus und Phänomenalismus aus, den auch Mach in seinen „Prinzipien der Wärmelehre" vertritt, sucht Stallo aus den Grundbegriffen der Physik alle metaphysischen Elemente zu eleminieren, verwirft den Atomismus und Mechanismus als Weltanschauung und objektive Grundlage der Physik und läßt ihn nur als ein Hilfsmittel der physikalischen Forschung und der Darstellung, als eine logische Fiktion gelten. Mit gründlichem historischen Wissen ausgerüstet und mit scharfem philosophischen Blick begabt, weiß er die Mängel des atomistischen Weltbildes freimütig und mit vielfach zwingender Klarheit bloßzulegen. Gerade die Klarheit und Folgerichtigkeit, mit der diese Aufgabe gestellt und durchgeführt ist, haben dem Werke des leider schon verstorbenen Deutsch-Amerikaners in seinem Adoptiv-Vaterlande den großen Erfolg verschafft, der ihm auch in seiner wirklichen Heimat in Deutschland gewiß nicht fehlen wird.

Rosenberger, Ferdinand, Die moderne Entwickelung der elektrischen Prinzipien. Fünf Vorträge. gr. 8°. [V, 170 Seiten.] 1898. M. 3.—.

Inhalt: 1. Die Theorien der elektrischen Imponderabilien im vorigen Jahrhundert. 2. Die Theorien der elektrischen Imponderabilien in unserem Jahrhundert. 3. Faraday und seine Umgestaltung der elektrischen Fundamente. 4. Die moderne Gestaltung der elektrischen Theorien. Ein Gleichnis. 5. Die Elektrizität und die fundamentalen Grenzbegriffe der Physik.

Schloemilchs Handbuch der Mathematik. 2. Auflage. Herausgegeben von Prof. Dr. **R. Henke** und Dr. **R. Heger.** 3 Bände. [Mit vielen Abbildungen im Text und auf Tafeln.] 1904. à M. 20.—; geb. M. 22.50.

I. Band. Elementarmathematik. II. Band. Höhere Mathematik. I. Teil. III. Band. Höhere Mathematik. II. Teil.

Das vorliegende Handbuch soll den Leser so weit führen, daß er eine ganze Reihe von Hauptwerken über Astronomie, Mechanik, Physik und Ingenieurwissenschaften lesen und sich nötigenfalls weiter helfen kann. Es dürfte somit hauptsächlich für Studierende an technischen Hochschulen, für Lehrer an höheren Schulen und die breiteren Kreise aller derjenigen in Betracht kommen, die nur die Grundlagen der Mathematik erlernen wollen.

Zeitschr. f. österr. Gymnasien: Wir glauben, daß das Buch für das Selbststudium auch schwieriger Partien der elementaren und höheren Mathematik sich sehr gut eignen wird. Die Verf. mußten zu diesem Zwecke manche Partie breiter gestalten, als es in einer Abhandlung möglich ist und es mußten auch mehrfach Wiederholungen eintreten. Die Klarheit der Darstellung, die mannigfache Unterstützung des Textes durch sehr gelungen ausgeführte Figuren und Tafeln, wie sich diese auf die darstellende Geometrie beziehen, werden jedenfalls zur Erreichung des angestrebten Zweckes beitragen.

Jaumann, G., Die Grundlagen der Bewegungslehre von einem modernen Standpunkte aus dargestellt. [VIII, 421 Seiten mit 124 Abbildungen.] 1905. M. 11.—; geb. M. 12.—.

Die Theorie der allgemeinen Bewegungserscheinungen hat eine noch unbegrenzte Entwickelungsfähigkeit. Doch ist es notwendig, ganz ohne vorgefaßte Vorstellungen an dieselben heranzutreten, dafür sie aber im Zusammenhang mit allen anderen physikalischen Erscheinungen zu betrachten. Hierzu hat der Verfasser den Versuch gemacht, der viele Anregungen bringt, namentlich sucht er Machs Theorien weiter auszubauen. Das Buch eignet sich für Physiker und Mathematiker, aber auch ebenso für Ingenieure und Philosophen.

FISCHER, VIKTOR, Vektordifferentiation und Vektorintegration. [VI, 82 Seiten mit 20 Figuren.] 1904. M. 4.—.

In der vorliegenden Arbeit hat der Verfasser den Begriff des Differentialquaternions eines Vektors weiter ausgeführt als üblich, und dies hat ihn zu sehr günstigen Resultaten geführt.

Handbuch der Physik. 2. Auflage. Unter Mitwirkung von zahlreichen Fachgelehrten herausgegeben von **Prof. Dr. A. Winkelmann** in Jena. Lex. 8°.

Von dem als Nachschlagewerk bekannten und geschätzten Handbuch kann das Erscheinen einer neuen, 2. Auflage rascher angezeigt werden, als bei Abschluß der 1. Auflage im Jahre 1896 angenommen worden war, ein Beweis, daß die Grundgedanken, nach denen die Bearbeitung stattgefunden hat, richtige waren.

Infolge der lebhaften Entwickelung auf vielen Gebieten der Physik wird der Rahmen des Werkes erweitert werden, so daß die 2. Auflage in 6 Bänden erscheinen soll und zwar in folgender Anordnung:

Band I: Allgemeine Physik.
Band II: Akustik.
Band III: Wärme.
Band IV und V: Elektrizität und Magnetismus.
Band VI: Optik.

Die Erscheinungsfolge der einzelnen Bände ist nicht an die Bandzahl geknüpft.

Bisher erschien:

Band IV: **Elektrizität.** 1. Halbband. Lex. 8°. [VI, 384 Seiten mit 142 Abbildungen.] 1903. M 12.—.

Band VI: **Optik.** 1. Halbband. [VI, 432 S. mit 170 Abbild.] 1904. M. 14.—.

Dieser Halbband enthält den Anfang der „Theorie der optischen Instrumente nach Abbe", die von den Mitarbeitern der Zeiß'schen Werkstätten verfaßt ist. Die Arbeiten wurden vielfach umgearbeitet und sind jetzt wohl die vorzüglichste Darstellung auf optischem Gebiete.

Da sich gleichzeitig 3 Bände des Handbuchs im Druck befinden, ist ein rasches Erscheinen in Zukunft gewährleistet.

Natur und Offenbarung: Nicht nur in den Reihen der Fachphysiker, sondern auch aller Naturwissenschafter, welche sich mit den der Physik verwandten Gebieten befassen, wird die Neubearbeitung des Handbuches der Physik von Winkelmann als eine erfreuliche Tatsache begrüßt werden. Denn seit dem Abschluß, noch mehr aber seit Beginn der ersten Auflage des vierbändigen Werkes wurden nicht nur in einzelnen Disziplinen umwälzende Entdeckungen gemacht, sondern es sind damals vollkommen neue Gebiete unserer Wissenschaft erschlossen worden. Das letztere gilt in besonders hohem Grade von der Elektrizität und es ist deshalb sehr dankenswert, daß gerade die die Lehre von der Elektrizität und dem Magnetismus enthaltende Band zuerst erscheint; ihm soll die Optik folgen und die übrigen Bände sollen sich so rasch anschließen, daß das Werk voraussichtlich im Jahre 1906 abgeschlossen sein wird.

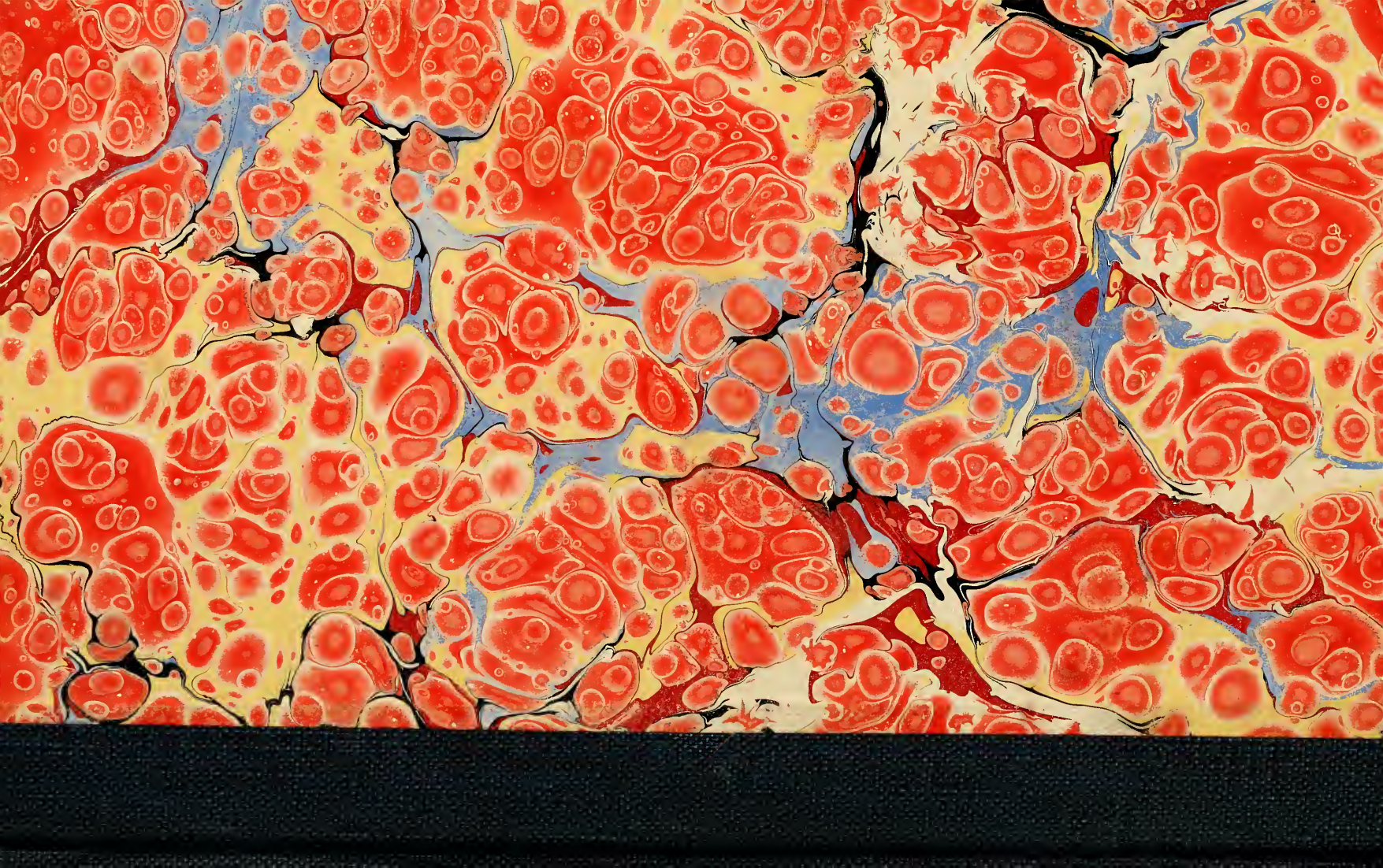
Handwörterbuch der Astronomie. Unter Mitwirkung von Prof. Dr. E. Becker-Straßburg, Prof. Dr. E. Gerland-Klausthal, Dr. N. Herz-Wien, Dr. H. Kobold-Straßburg, Dr. N. v. Konkoly-Budapest, Prof. Dr. C. F. W. Peters (†), Dr. E. v. Rebeur-Paschwitz (†), Dr. Fr. Ristenpart-Kiel, Prof. Dr. W. Schur-Göttingen, Prof. Dr. H. Seeliger-München, Prof. Dr. W. Wislicenus-Straßburg, Dr. A. Zelbr (†) herausgegeben von **Prof. Dr. W. Valentiner** in Heidelberg. Lex. 8°. Vier Bände in 5 Teilen. [Mit 489 Abbildungen und 11 Tafeln.] 1896—1902. Cpl. M. 100.—; geb. M. 112.—.

Jeder Teil kostet gebunden M. 2.40 mehr.

TAMMANN, GUSTAV. Kristallisieren und Schmelzen. Ein Beitrag zur Lehre der Änderungen des Aggregatzustandes. 8°. [X, 348 Seiten mit 88 Abbildungen.] 1903. M. 8.—; geb. M. 9.—.

Zeitschrift für Elektrochemie: Veröffentlichte und unveröffentlichte Früchte siebenjähriger experimenteller Arbeiten vereint das vorliegende Werk mit neuen originalen Gedanken zu einem stattlichen Gesamtbild. Es handelt namentlich von dem Studium eines Parameters beim Übergang der beiden Aggregatzustände, dessen Effekt im gewöhnlichen Leben wenig beachtet wird, nämlich des Druckes, der in bedeutsamem Maße nur unter Aufwand großer Experimentierkunst variierbar ist. Derartige Untersuchungen haben den Verfasser zu einer neuen Anschauung über die Form der Gleichgewichtskurven geführt, welche den Übergang von kristallisierten (anisotropen) in isotrope (flüssige oder amorphfeste) Körper darstellen.

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

COUNTWAY LIBRARY OF MEDICINE
QD
181
R1 B464

RARE BOOKS DEPARTMENT